

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

***СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕМ  
И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ  
ПРОИЗВОДСТВЕ АПК***

**материалы международной  
научно-технической конференции,  
посвященной 90-летию со дня рождения  
профессора Сулова В.П.**

6-7 октября 1999 г.

Минск  
2000

Современные технологии в ремонтно-обслуживающем и машиностроительном производстве АПК. Материалы междунар. науч.-техн. конф./Под ред. В.С. Ивашко, Л.М. Кожуро, А.В. Крутова – Мн.: БАТУ, 2000. – 188 с.  
ISBN 985–6552–04–4

Рассмотрены технологии получения новых материалов и их обработки. Особое внимание уделяется пористым проницаемым и композиционным материалам, а также покрытиям на металлической и полимерной основах.

Представлены технологические процессы и оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин. Освещены вопросы организации ремонтного производства и технического сервиса на предприятиях АПК.

Сборник предназначен для инженерных и научно-технических работников, аспирантов, студентов технических специальностей.

**РЕКОМЕНДАЦИИ**  
**международной научно-технической конференции**  
**«Современные технологии в ремонтно-обслуживающем и**  
**машиностроительном производстве АПК»**

Минск

6–7 октября 1999 г.

Эффективная работа агропромышленного комплекса в значительной мере обуславливается уровнем надежности поставляемой селу техники, совершенством системы ее технической эксплуатации. За последние годы показатели надежности поставляемых машин резко снизились. Так, средние наработки на отказ тракторов уменьшились более чем в 2 раза при значительном возрастании их стоимости.

Уровень технической оснащенности сельского хозяйства Республики Беларусь, хотя и остается одним из самых высоких в СНГ, за последние годы существенно снизился, что объясняется продолжающимся диспаритетом цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию, отсутствием в колхозах, совхозах и других сельхозпроизводителей оборотных средств для приобретения необходимой им техники.

Неукомплектованность парка и низкий уровень технической готовности машин приводит, по экспертной оценке ученых, к перерасходу топлива на 10–15%, недобору урожая более 30%, возрастанию расходов на ремонт и техническое обслуживание, которые за срок службы трактора примерно в 3–4 раза больше затрат на их изготовление, в то время как мировые стандарты указывают на соотношение 1,0–1,5.

Организация рационального машиноиспользования во многом зависит от состояния ремонтно-обслуживающей базы. Созданная в республике, уникальная по своему составу и организационной структуре сеть ремонтно-обслуживающих предприятий технического сервиса в последние годы испытывает серьезные трудности и претерпела определенные изменения, которые оказали влияние на уровень готовности машинного парка. Это прежде всего сокращение объемов работ по капитальному ремонту машин, агрегатов и узлов, выполняемых специализированными ремонтными предприятиями, переориентация отдельных ремонтных заводов на выпуск новой сельскохозяйственной техники, значительное уменьшение услуг в выполнении сложных ремонтно-обслуживающих работ, оказываемых хозяйствам со стороны инженерно-технических служб районного уровня (райагропромтехник). Перемещение основного объема ремонтно-обслуживающих работ на производственную базу хозяйств из-за слабого уровня технического оснащения, отсутствия квалифицированных кадров ремонтников, несоблюдения планово-предупре-

длительной системы ТО, приводит к низкому качеству работ, значительным простоям машин в процессе эксплуатации. Механизаторы хозяйств повсеместно занимаются переборкой старой техники, когда из двух машин собирают одну, без гарантийных послеремонтных сроков ее работы.

Достижение эффективного использования сельскохозяйственной техники, функционирования ремонтно-обслуживающей базы основывается на реализации принципа триединства научно-технического прогресса: производство новой техники – эксплуатация – ремонт.

В этой связи в сфере производства техники, главным образом, следует:

- повысить ресурс машин в 1,5–2 раза и добиться их конкурентоспособности на мировом рынке;
- обеспечить соответствие цены машины ее технико-экономическим параметрам;
- заводам-изготовителям осуществить фирменный ремонт и техническое обслуживание выпускаемых машин на протяжении их срока службы с обеспечением принципов противозатратного механизма в этой сфере хозяйствования.

При реформировании ремонтно-обслуживающей базы республики, исходя из наличия уникальной по структуре базы, следует:

- совершенствовать (а не разрушать) имеющуюся базу;
- внедрить так называемую дилерскую систему технического сервиса;
- разработать и осуществить оптимизацию сети ремонтно-обслуживающих предприятий в системе технического сервиса;
- реализовать агрегатный метод ремонта техники и обеспечить качество работ на уровне технико-экономических параметров новых машин;
- осуществить на практике приобретение у потребителя бывшей в эксплуатации техники, ее ремонт, продажу и гарантию качества;
- организовать аренду и прокат техники;
- исследовать возможность организации машинно-технологических станций (МТС), обеспечивающих многофункциональный технический сервис в сфере сельскохозяйственного производства.

Для обеспечения требуемого уровня качества ремонтно-обслуживающих работ нужно принять меры по изготовлению необходимого технологического оборудования, которое у подавляющего числа предприятий устарело морально и физически и требует ремонта. Здесь свое слово должны сказать заводы-изготовители сельскохозяйственной техники, которые способны наладить выпуск ремонтно-технологического оборудования и поставки его на ремонтно-обслуживающие предприятия, в том числе и на лизинговой основе.

Учитывая стохастический характер изнашивания и возникновения отказов машин в качестве основного принципа контроля за состоянием и обеспе-

чения их достаточной работоспособности, учеными рекомендуется слежение за динамикой технического состояния элементов машин с определением вида, объема, места и сроков выполнения ремонтно-обслуживающих работ по результатам объективных показателей, получаемых с помощью комплекса методов и средств диагностирования в полевых и стационарных условиях. Это позволяет уменьшить в 2–2,5 раза количество отказов машин, повысить на 30% использование фактического ресурса их составных частей.

Дальнейшее развитие должен получить агрегатный метод ремонта, материальной основой которого является обменный фонд агрегатов и узлов, создаваемых на различных уровнях системы резервирования – хозяйствах, технических обменных пунктах (районных, межрайонных, областных), специализированных ремонтных предприятиях.

Применение готовых агрегатов и узлов машин, а также ремонтных комплектов деталей обеспечивает высокое качество работ при последовательном восстановлении работоспособности машин с помощью текущих ремонтов, в несколько раз сокращает время их проведения и простоев техники, а следовательно, сроки выполнения сельскохозяйственных работ.

Следует акцентировать внимание на развитие агрегатно-ремонтных предприятий многопредметной специализации в связи с потребностью в их продукции. Это объясняется тем, что за срок использования трактора приходится заменять 2–3 двигателя, 1–2 коробок перемены передач, 4–5 топливных насосов и других агрегатов и узлов.

Основной функцией инженерных служб специализированных предприятий является высокое качество отремонтированной продукции, обеспечивающей безотказность и ресурс на уровне новых, снижение себестоимости ремонтных работ до нормативных значений. Полный или почти полный послеремонтный ресурс выпускаемой продукции достигается, как показали экономические расчеты, с затратами не более 40–50% стоимости новых машин и агрегатов.

Весьма важным мероприятием является централизованное восстановление деталей, осуществляемое с помощью новейших методов и средств в основном на специализированных предприятиях с обеспечением ресурса восстановленных деталей не менее 100% ресурса новых при себестоимости восстановления до 30–40% стоимости новых деталей.

Научно-техническая конференция рекомендует:

1. Разработать концепцию реформирования ремонтно-обслуживающей базы АПК Республики Беларусь на основе оптимального размещения производств по ремонту машин и их составных частей, в особенности, мотороремонтных, развития агрегатно-ремонтных предприятий многопредметной специализации, расширения централизованного восстановления деталей на ос-

нове новейших методов и средств, позволяющих обеспечить ресурс восстановленных деталей не менее 100% ресурса новых при себестоимости восстановления до 30–40% стоимости новых деталей.

2. Проведение исследований по обоснованию путей развития ремонтно-обслуживающих производств районного уровня с учетом централизации обслуживания сложной сельскохозяйственной техники, организации многоцелевых технических центров фирменного обслуживания, изучения возможностей организации машинно-технологических станций.

3. Продолжить исследования по оптимизации номенклатуры запасных частей и обменного фонда агрегатов и узлов и размещения их в многоуровневой системе резервирования (хозяйства – технические обменные пункты – ремонтные предприятия).

4. Рекомендовать концерну «Белагромаш» и Республиканскому объединению «Белагропромтехника» при изготовлении новых машин и их запасных частей, работающих в условиях интенсивного износа или коррозии, шире использовать методы поверхностного легирования конструкционных сталей. При этом целесообразно поручить специалистам кафедры «Ремонт машин» БАТУ вместе с другими заинтересованными организациями разработать рекомендации по упрочнению быстроизнашивающихся деталей, совместно с концерном «Белагромаш» организовать производство порошковых смесей для поверхностного легирования.

5. Рекомендовать управлению технического прогресса Минсельхозпрода и управлению сельскохозяйственного машиностроения Минпрома Республики Беларусь рассмотреть вопрос о практическом использовании технических решений по упрочнению почворежущих элементов машин диффузионным напороживанием на предприятиях республики.

6. Рекомендовать концерну «Белагромаш» организовать централизованное производство биметаллических втулок взамен бронзовых.

7. Рекомендовать концерну «Белагромаш» и ОАО «Проммашремонт» организовать промышленный участок по восстановлению вкладышей двигателя для всей республики методом электрохимического осаждения.

8. Считать целесообразным проведение конференций такой тематической направленности регулярно, например, раз в 2 года. Общение ученых различных организаций несомненно полезно. Итогом такой конференции могли быть периодически издаваемые труды БАТУ, где нашли бы отражение лучшие доклады.

9. Учитывая актуальность данной тематики и тесную связь БАТУ с ремонтными и перерабатывающими предприятиями Минсельхозпрода, считаем целесообразным предложить Минсельхозпроду ходатайствовать перед ГКНТ РБ о формировании государственной программы «Ремонт сельскохозяйственной техники», координатором которой мог бы выступить БАТУ.

10. На базе БАТУ формировать банк данных по проблемам, стоящим перед предприятиями Минсельхозпрода, касающимся ремонта машин и их составных частей и восстановления деталей, новых материалов и технологий. Координатором между предприятиями и научными учреждениями республики может выступить БАТУ.

11. Ходатайствовать перед Минсельхозпродом Республики Беларусь о необходимости организации факультета «Технический сервис в АПК» и подготовки инженерных кадров на базе Белорусского государственного аграрно-технического университета по специальностям: «Технический сервис машин и оборудования в сельском хозяйстве», «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники».

12. Рекомендовать управлению технического прогресса Минсельхозпрода организовать в БАТУ проблемную лабораторию «Упрочнение и восстановление деталей машин» имени первого ректора БИМСХ (БАТУ), доктора технических наук, профессора Сулова Виктора Павловича.

## ЖИЗНЬ И ТВОРЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ПЕРВОГО РЕКТОРА БИМСХ – ПРОФЕССОРА, ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК СУСЛОВА ВИКТОРА ПАВЛОВИЧА

Производственную деятельность Виктор Павлович Суслов начал с 15-летнего возраста по окончании школы ФЗО в качестве токаря.

После окончания в 1934 г. Томского индустриального института свою инженерную деятельность начал на Уральском заводе тяжелого машиностроения им. С. Орджоникидзе “Уралмаш”, где прошел путь от мастера до главного инженера завода. Как талантливый инженер направлялся в зарубежную командировку в США, где изучал зарубежный опыт машиностроения. В дальнейшем Виктор Павлович Суслов работал директором дизелестроительного завода в Воронеже и Нижнем Новгороде.

В годы Великой Отечественной войны находился в рядах Советской Армии, участвовал в боевых действиях. С 1944 г. работал заместителем главного инженера Харьковского тракторного завода, а с 1947 г. его деятельность непрерывно связана с Республикой Беларусь: работал директором Минского мотовелозавода, Минского тракторного завода, где под его непосредственным руководством был разработан и освоен массовый выпуск универсальных тракторов “Беларусь”.

Его научно-педагогическая деятельность началась с 1951 г.: доцент, заведующий кафедрой тракторов автотракторного факультета Белорусского политехнического института. С 1954 г. работал первым ректором Института механизации сельского хозяйства, а также руководил кафедрой “Ремонт машин”. С 1987 г. работал профессором-консультантом на этой кафедре.

Профессор Суслов Виктор Павлович имеет более 300 научных трудов по проблемам технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники, из них 9 монографий, учебников, справочных пособий. Под его руководством подготовлено 4 докторских и 26 кандидатских диссертаций. Разработана оптимальная схема развития ремонтного производства в сельском хозяйстве Республики Беларусь, одобренная постановлением Совета Министров Республики Беларусь. За разработки в этой области он награжден двумя золотыми и одной бронзовой медалями ВДНХ СССР. Профессор Суслов Виктор Павлович награжден медалями “Изобретатель СССР” и “За особые заслуги перед Высшей школой”. Значительны достижения профессора Сулова в области восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники. Его учениками разработаны ресурсосберегающие технологии восстановления и упрочнения деталей, которые широко применяются в ремонтном производстве.

Виктор Павлович Суслов постоянно вел большую общественно-политическую работу как член технического Совета Госагропрома БССР, координатор

национного Совета ГОСНИТИ и ряда специализированных советов, Совета ветеранов войны.

Научно-производственная деятельность Виктора Павловича Сулова отмечена правительственными наградами – двумя орденами “Трудового Красного Знамени”, орденом Великой Отечественной войны и многими медалями.

# 1. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

## *ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В АПК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ*

*Миклуш В.П.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Организация рационального машиноиспользования во многом зависит от состояния ремонтно-обслуживающего производства. Созданная в республике, уникальная по своему составу и организационной структуре сеть ремонтно-обслуживающих предприятий в последние годы испытывает серьезные трудности и претерпела определенные изменения, которые оказали влияние на уровень готовности машинного парка. Это прежде всего сокращение объемов работ по капитальному ремонту машин, агрегатов и узлов, выполняемых специализированными ремонтными предприятиями, переориентация отдельных ремонтных заводов на выпуск новой сельскохозяйственной техники, значительное уменьшение услуг в выполнении сложных ремонтно-обслуживающих работ, оказываемых хозяйствам со стороны инженерно-технических служб районного уровня (райагропромтехники). Перемещение основного объема ремонтно-обслуживающих работ на производственную базу хозяйств из-за слабого уровня технического оснащения, отсутствия квалифицированных кадров ремонтников, несоблюдения планово-предупредительной системы ТО, приводит к низкому качеству работ, большим простоям машин в процессе эксплуатации. Значительно ухудшилось техническое состояние и увеличились сроки службы машинно-тракторного парка. В мастерских многих хозяйств из нескольких старых машин восстанавливают одну, путем использования годных составных частей. При этом только по необходимости приобретает минимум новых запасных частей.

Стратегические направления последующего перспективного развития сферы технического обслуживания и ремонта, эффективного использования сельскохозяйственного машинного парка основываются на реализации принципа триединства научно-технического прогресса: производство новой техники – эксплуатация – ремонт.

Анализ организационных структур реализации, обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в странах с развитой рыночной экономикой позволяет выделить в этой сфере три основных звена: изготовитель, дилер и потребитель (сельский товаропроизводитель). При этом фирмы-изготовите-

ли организуют продажу, техническое обслуживание, гарантийный ремонт, продажу запасных частей и другие виды сервисных услуг через сеть дилерских пунктов.

Представляется целесообразным обеспечить технический сервис, как комплексный вид работ (услуг) по обеспечению сельхозпроизводителя машинами, оборудованием, запасными частями к ним, созданию условий для эффективного использования этой техники как в гарантийный, так и послегарантийный периоды. Эти услуги должны выполняться специализированными службами торгово-снабженческих и ремонтно-обслуживающих предприятий. Обособление из комплекса услуг технического сервиса и монополизация наиболее выгодных функций продажи техники на базах «Агроснаба» не отвечает ни интересам сельхозпроизводителя, ни имеющемуся мировому опыту. Необходима интеграция снабженческих и ремонтно-обслуживающих предприятий.

Ремонтно-обслуживающие работы при этом являются уделом не только самих пользователей техники, но и ответственностью ее изготовителя. Такой форме организации ремонта и технического обслуживания машин в условиях рыночной экономики сопутствует противозатратный механизм, что подтверждает ее перспективность. Затраты на ремонт и ТО машин не превышают расходов на новую технику.

В техническом сервисе должны участвовать, в первую очередь, крупные заводы-изготовители массовых видов техники (автомобилей, тракторов, комбайнов). С их участием необходимо создать сеть фирменных центров, способных оперативно выполнять заявки (в том числе и с помощью выездных бригад), включая: изучение спроса на новые машины, разработку мероприятий по подготовке, переподготовке, повышению квалификации потребителей техники; рекламу продукции, работы и услуг; определение и формирование номенклатуры запасных частей повышенного, среднего и редкого спроса; оперативное оповещение потребителей о всех технических изменениях в новых машинах; сбор и анализ информации о надежности машин и их составных частей. Виды работ и услуг, их распределение между исполнителями должны отвечать запросам потребителей, обеспечивая выбор экономически выгодного партнера в техническом сервисе.

При переводе заводов-изготовителей на условия продажи техники с соответствующим комплексом услуг по техническому сервису, главной задачей является сохранение и использование имеющегося производственного потенциала по техническому обслуживанию и ремонту, не допустить перепрофилирование специализированных ремонтных предприятий. Необходимо ГОСТами на продукцию, условиями ее сертификации или разработкой специального закона установить, что технический сервис осуществляет предпри-

ятие-изготовитель машин. Оно же несет экономическую ответственность за обеспечение ее работоспособности в течение всего срока использования. Деятельность предприятий, поставляющих технику и осуществляющих функции ее технического сервиса, должна быть лицензирована и законодательно отрегулирована.

Заслуживает внимания идея создания рынка подержанных машин, согласно которой экономически сильные и эффективные хозяйства могли бы реализовать имеющиеся у них подержанные машины другой, средней группе хозяйств, которые, в свою очередь, будут продавать бывшую у них в эксплуатации технику еще менее обеспеченным хозяйствам. Эта естественная схема ротации подержанной техники позволит хозяйствам пополнять машинно-тракторный парк. В связи с этим должны измениться принципы использования техники, с ориентацией на увеличение сроков службы машин при одновременном уменьшении на них нагрузки.

Важной задачей является расширение номенклатуры услуг, оказываемых сельским товаропроизводителям со стороны районных сервисных предприятий. В их функции должны входить, наряду с традиционными (ремонт и обслуживание), такие виды услуг, как гарантийное обслуживание новых видов техники, безразборная диагностика, обеспечение экологической безопасности при эксплуатации МТП, продажа технической документации.

Появляется необходимость в создании машинно-технологических станций (МТС). Направленность работы их может быть различной. В сильных хозяйствах – это внедрение современных технологий и новых машин. В менее мощных и эффективных – сочетание функций внедрения новой техники и новых технологий с прямым выполнением некоторых наиболее необходимых сельскохозяйственных операций. И, наконец, для наименее обеспеченных хозяйств и фермеров – выполнение всевозможных сельскохозяйственных работ, в первую очередь посева, внесения удобрений и уборки урожая; комплектование заказа машиностроению; реклама, обеспечение технологической и нормативно-технической документацией; подготовка и переподготовку кадров. МТС могут формироваться на различных базах и формах собственности, но наиболее подготовленные – это предприятия райагропромтехники. Здесь есть соответствующая база, кадры и часть техники.

В изменившихся условиях необходимо ориентироваться на расширение объемов работ по ремонту без обезличивания деталей в приработавшихся сопряжениях, что способствует более полному использованию ресурса.

В связи с этим существенно возрастают требования к технологиям разборки машин, очистки и мойки деталей, контролю линейных размеров, пространственной геометрии, несплошности материала деталей, технологиям их восстановления по критерию ресурсосбережения, комплектовки и сборки сопряжений, регулировки, обкатки и испытания.

Для обеспечения требуемого уровня качества ремонтно-обслуживающих работ нужно принять меры по изготовлению необходимого технологического оборудования, которое у подавляющего числа предприятий устарело морально и физически и требует ремонта и обновления. Здесь свое слово должны сказать заводы-изготовители сельскохозяйственной техники, которые способны наладить выпуск ремонтно-технологического оборудования и поставки его на ремонтно-обслуживающие предприятия, в том числе и на лизинговой основе.

Учитывая стохастический характер изнашивания и возникновения отказов машин в качестве основного принципа контроля за состоянием и обеспечения их достаточной работоспособности, учеными рекомендуется слежение за динамикой технического состояния элементов машин с определением вида, объема, места и сроков выполнения ремонтно-обслуживающих работ по результатам объективных показателей, получаемых с помощью комплекса методов и средств диагностирования в полевых и стационарных условиях. Это позволяет уменьшить в 2–2,5 раза количество отказов машин, повысить на 30% использование фактического ресурса их составных частей.

Дальнейшее развитие должен получить агрегатный метод ремонта, материальной основой которого является обменный фонд агрегатов и узлов, создаваемых на различных уровнях системы резервирования – хозяйства; технических обменных пунктах (районных, межрайонных, областных), специализированных ремонтных предприятиях.

Следует акцентировать внимание на развитие агрегатно-ремонтных предприятий многопредметной специализации в связи с потребностью в их продукции.

Эффективным экономическим рычагом сбора изношенных ремонтнопригодных деталей, как и вообще ремонтного фонда, является расчет с заказчиком по остаточной стоимости, которая устанавливается сторонами в результате оценки технического состояния (наиболее точно после разборки и дефактации).

Весьма важным мероприятием является централизованное восстановление деталей, осуществляемое с помощью новейших методов и средств в основном на специализированных предприятиях с обеспечением ресурса восстановленных деталей не менее 100% ресурса новых при себестоимости восстановления до 30–40% стоимости новых деталей.

Реформирование ремонтно-обслуживающей базы АПК в условиях развития технического сервиса позволит обеспечить рациональное машиноиспользование, поддержание и восстановление потребительских свойств технических средств в течение их срока службы, что в конечной мере будет способствовать повышению эффективности сельскохозяйственного производства.

## ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТРАКТОРОВ И КОМБАЙНОВ

*Сидорчук А.В., Сидорчук В.Л., Кухарук А.В., Цип Е.И.  
Львовский государственный аграрный университет, Львовская  
облгосадминистрация, «Львовагрозремашснаб»*

Одной из причин деградации технического потенциала сельского хозяйства Украины является неудовлетворительное выполнение сложного технического обслуживания (ТО) тракторов и комбайнов. Централизованное обслуживание энергонасыщенных тракторов на районных станциях не выполняется из-за больших расстояний транспортировки. Ресурсное диагностирование и сложное обслуживание этих машин в мастерских хозяйств из-за отсутствия нужного оборудования выполнить невозможно.

Разработанные новые научно-методические основы расчета параметров и оптимизации радиуса действия пункта централизованного технического обслуживания (ПЦТО) дают возможность оптимизировать региональные производственные обслуживающие системы. Ими предусматривается поиск соответствия между технологическим и техническим базами сервисных процессов, а также характеристиками производственной среды: 1) наличием тракторов и комбайнов в зоне действия пункта; 2) спросом на обслуживание; 3) расстоянием до мест дислокации тракторов и комбайнов. При этом учитывается вероятностная природа характеристик и календарная нестабильность спроса.

Характеристики производственной среды изучаются на основании экспериментирования. Исходными данными являются наличие тракторов и комбайнов в хозяйствах, территориальное размещение хозяйств (места дислокации машин), средняя годовая наработка тракторов отдельных марок, а также распределение ее на календарной оси.

Техническое обслуживание колесных тракторов предусматривается выполнять как на стационарных пунктах, так и с помощью мобильных средств, а также на основании их комбинации. Сложное обслуживание комбайнов и гусеничных тракторов осуществляется с помощью мобильных средств. В частности, комбайны машинно-технологических станций обслуживаются централизованно с помощью мобильных средств этих станций.

Пункт централизованного технического обслуживания состоит из стационарных постов и мобильных средств. Работа ПЦТО моделируется с помощью имитаций обслуживающих процессов. Результатом моделирования является зависимость простоев тракторов и комбайнов на обслуживании от спроса, числа постов (мобильных средств) и количества рабочих. Энергетическая оценка полученных физических величин позволяет оптимизировать структуру ПЦТО.

Критерием оптимальности радиуса действия ПЦТО являются удельные совокупные энергетические затраты на выполнение обслуживающих процессов с помощью пункта оптимальной структуры, а также транспортирование тракторов и мобильных средств.

## КОМПАКТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНВАРИАНТОВ

*Свирский Д.Н.  
ИТК НАН Беларуси*

Концепция компактного производства призвана повысить эффективность изготовления машиностроительной продукции в современных социально-экономических условиях. Компактная интегрированная система (КИС) сочетает свернутость в пространстве и времени с минимальным уровнем структурной и ресурсной избыточности, ее функционирование поддерживается высокоинтеллектуальными средствами компьютерного проектирования, мониторинга и управления.

Производственную систему часто моделируют “черным ящиком” с выходной переменной  $Y$  (продукцией), контролируемой входной переменной  $X$  (ресурсами) и неуправляемыми воздействиями или возмущениями  $f$  (изменениями потока заказов). Рассматривая КИС как объект управления, при ее структурировании можно применить известный метод управления с компенсацией возмущений. Он заключается в том, что в систему управления вводится специальный блок, компенсирующий возмущения, – компенсатор. Теория инвариантности позволяет определить условия независимости выходной переменной  $Y$  от возмущающих воздействий  $f$ . При добавлении к производственной системе компенсатора, в котором возмущение  $f$  преобразуется в “ $-f$ ” и воздействует на КИС, получается полная компенсация, т.к.  $f - f = 0$ . В результате, несмотря на постоянные изменения потока заказов, основная (инвариантная) часть КИС функционирует в стабильном заданном режиме наибольшей эффективности. В определенном смысле структура КИС состоит всего из двух функционально, структурно и пространственно обособленных модулей: инварианта и адаптера (компенсатора). Последний реализует компенсирующие (адаптирующие) функции-технологии. В КИС машиностроительного предприятия роль инварианта играет нормально функционирующее основное производство, оптимальным образом “настроенное” на серийный выпуск продукции. Роль адаптера исполняют вспомогательные (в широком смысле) производства: опытное, инструментальное, ремонтное, характеризующиеся единичным выпуском весьма широкой номенклатуры изделий. В то же время,

все вышеперечисленные производственные компоненты машиностроительного предприятия тесно “генетически” связаны, в том числе в технологическом и техническом аспектах. Поэтому есть возможность объединить опытное, инструментальное и ремонтное производства в рамках КИС вспомогательного производства предприятия на базе инвариантного парка универсального станочного оборудования. Распространяя подобный подход на решение задачи выбора комплекса технических средств реструктурированного вспомогательного производства, представляется целесообразным применение наряду с универсальными металлорежущими станками (инвариантом) компьютеризированных систем лазерного раскроя (адаптера). На уровне КИС лазерного раскроя роль инварианта играет программно управляемый лазерный комплекс, а роль адаптера – персональный компьютер. Таким образом, структура компактного производства в целом имеет вид многоуровневой рекурсивной иерархии. Тем самым удастся локализовать чрезмерную структурную и ресурсную избыточность всей производственной системы предприятия в пределах адаптирующего компонента самого нижнего уровня.

## **ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ВЛОЖЕНИЙ В РЕМОНТНО- ОБСЛУЖИВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

*Штомпель Б.Н.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Побудительным мотивом для осуществления расходов на инвестиции является прибыль, получаемая в результате снижения издержек в ремонтно-обслуживающем производстве посредством внедрения новых технологий, машин и оборудования. Поэтому, согласно методике COMFAR, для оценки эффективности использования инвестиций применяются такие показатели, как продолжительность окупаемости капиталовложений, чистая дисконтируемая стоимость, внутренняя и простая ставка дохода, исходными составляющими для расчета которых являются прибыль или доход.

Существуют определенные причины отклонения расчетных показателей эффективности инвестиций от реальных. Поэтому при выполнении расчетов в условиях неопределенности для оценки уровня риска проводят анализ чувствительности, анализ безубыточности и анализ динамичности проекта.

Основная группа рисков соответствует заключительным стадиям проекта, обусловленным такими причинами, как увеличение сроков ввода проекта в эксплуатацию, моральное устаревание технологии, оборудования и продукции, превышение сметной стоимости проекта, рост издержек производства, невыполнение гарантий поставщиками, неквали-

фицированное управление производством и ошибки в маркетинговой деятельности.

Особенно сильно проявляются эти факторы в условиях перехода к рыночной экономике, когда имеет место нехватка инвестиционных вложений для комплексного совершенствования производства до уровня мировых требований, нерациональное использование трудовых и материальных ресурсов, нехватка оборотных средств, невысокое качество продукции и сравнительно высокие издержки, что затрудняет возможность за счет инвестиционных вложений увеличить объем производства и реализации продукции.

Следовательно, для оценки эффективности инвестиционных вложений в условиях перехода к рынку, кроме общепринятых показателей эффективности инвестиций, необходимо для конкретных ремонтно-обслуживающих предприятий определять их эффективность и по конечным результатам – росту объема производства и прибыли, используя метод построения сводных индексов.

Инвестиционные вложения должны быть использованы для наиболее эффективных на данный период времени мероприятий, а также освоены в наиболее короткие сроки, чтобы своевременно вернуть кредиты и создать накопления для последующих инвестиций. Эту задачу решают посредством сравнения различных вариантов инвестиционных вложений и выбирают из них наилучший посредством расчета таких показателей, как продолжительность окупаемости сравниваемых или дополнительных капиталовложений и сравнительной дисконтированной стоимости за счет службы этих средств.

Однако перечисленные показатели характеризуют только эффективность сравниваемых вариантов и не отражают фактического влияния этих мероприятий в совокупности на эффективность всего производства в целом.

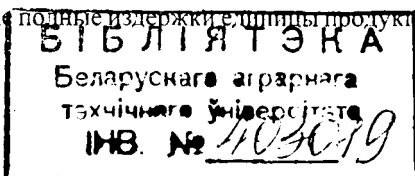
Основное назначение инвестиционных вложений в условиях рыночных отношений – снижение себестоимости продукции, повышение ее качества и объема производства при росте спроса. Поэтому оценить изменение эффективности производства можно посредством сравнения прежних и полученных после инвестиционных вложений новых показателей:

$$K_{\gamma, n} = \frac{P_n \cdot (C_n - P_n)}{P_n \cdot (C_n - P_n)} \quad (1)$$

где  $P_n$ ,  $P_n$  – годовой объем реализации продукции до и после вложения инвестиций;

$C_n$ ,  $C_n$  – среднегодовая цена реализации единицы продукции до и после вложения инвестиций;

$P_n$ ,  $P_n$  – среднегодовые полные издержки единицы продукции до и после вложений инвестиций.



Показатель эффективности производства (1) – можно использовать и для  $i$ -го многопрофильного производства, если применить индексный метод:

$$K_{\gamma,n} = \frac{\sum \Pi_{ni} \cdot (C_{ni} - P_{ni})}{\sum \Pi_{ni} \cdot (C_{ni} - P_{ni})}, \quad (2)$$

где  $\frac{\sum \Pi_{ni}}{\sum \Pi_n}$  – индекс (коэффициент) изменения реализации продукции, ( $K_o$ );

$\frac{C_{ni} - P_{ni}}{C_n - P_n}$  – индекс (коэффициент) изменения реализации продукции полных производственных издержек ( $K_n$ ).

С целью анализа влияния различных факторов на эффективность производства от инвестиций выражение (2) можно представить в следующем виде

$$K_{\gamma,n} = K_o \cdot K_n \quad (3)$$

При различной комбинации этих коэффициентов, отражающих повышение или снижение дохода от изменения объема производства, полных издержек, цены реализации продукции, их результирующая величина может быть больше или меньше единицы, что будет показывать рост или снижение эффективности производства от инвестиционных вложений.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЧИСТОЙ ДИСКОНТИРОВАННОЙ СТОИМОСТИ ПО ПРИВЕДЕННЫМ ЗАТРАТАМ

*Штомпель Б.Н.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

В ранее опубликованных работах [1,2] была изложена методика определения экономического эффекта посредством приведенных затрат по среднегодовой величине издержек, себестоимости или дохода за срок использования дополнительно вложенных основных средств производства. Среднегодовая величина этих показателей определяется вполне точно, если известны их значения за каждый год расчетного периода, т.е.

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}, \quad (1)$$

где  $D_1, D_2, \dots, D_n$  – годовой доход за 1, 2, ... n год расчетного периода.

Значение  $D_1$  можно вычислить за 1-й год расчетного периода посредством выполнения расчетов на текущий период времени. Значения  $D_2$  за ос-

тальные периоды времени определяются также без учета амортизации как вероятностные величины посредством статистического прогнозирования [3].

Капиталовложения могут вкладываться в какой-либо объект одновременно в 1-й год, а также дискретно, по частям, через определенный период времени, т.е.

$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_n = \sum_{i=1}^n K_i, \quad (2)$$

где  $K_1, K_2, \dots, K_n$  – капиталовложения, вкладываемые в соответствующие годы функционального объекта.

В этом случае сравнительная чистая дисконтированная стоимость будет определяться как сумма годовых эффектов за срок службы вводимого объекта:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & [(D_{11} + K_{11}) - (D_{21} + K_{21})] \cdot \frac{1}{1+E} + [(D_{12} + K_{12}) - (D_{22} + K_{22})] \cdot \frac{1}{(1+E)^2} + \dots + \\ & + [(D_{1n} + K_{1n}) - (D_{2n} + K_{2n})] \cdot \frac{1}{(1+E)^n}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $D_{11}, \dots, D_{1n}$  – доход в 1-м варианте за 1...n лет;  $D_{21}, \dots, D_{2n}$  – доход в 2-м варианте за 1...n лет;  $K_{11}, \dots, K_{1n}$  – капиталовложения в 1-м варианте за 1...n лет;  $K_{21}, \dots, K_{2n}$

– капиталовложения в 2-м варианте за 1...n лет;  $\frac{1}{(1+E)^n}$  – коэффициент приведения от n-ого к 1-му году функционирования объекта.

Если представить  $D_{11} - D_{21} = \Delta D_1$ , а  $K_{11} - K_{21} = -\Delta K_1$  при  $K_{12} > K_{21}$  и т.д., то:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & (\Delta D_1 - \Delta K_1) \frac{1}{1+E} + (\Delta D_2 - \Delta K_2) \frac{1}{1+E} + \dots + (\Delta D_n - \Delta K_n) \frac{1}{(1+E)^n} = \\ = & \sum_{i=1}^n \frac{\Delta D_i}{(1+E)^i} - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta K_i}{(1+E)^i} \equiv \frac{D_{cc}}{E+R} - K. \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\frac{\Delta D_i}{(1+E)^i}$ ,  $\frac{\Delta K_i}{(1+E)^i}$  – изменение дохода или капиталовложений за срок службы основных средств, приведенных к 1-му году их освоения.

Умножим выражение (4) на  $E+R$ , получим  $\mathcal{E}(E+R) = D_{cc} - K(E+R)$  – годовой экономический эффект, определяемый по приведенным затратам.

Изменение дохода и капиталовложений –  $\Delta D_i$ ,  $\Delta K_i$  по отдельным годам может иметь следующие варианты:

$\Delta D_1=0, \Delta K_1<0; \Delta D_1>0, \Delta K_1=0. \Delta D_1>0, \Delta K_1<0$ , что необходимо учитывать в каждом конкретном случае.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Штомпель Б.Н. Применение показателя приведенных затрат для оценки эффективности капиталовложений в рыночных условиях. Материалы международной конференции "Механизация, электрификация, автоматический и технический сервис в АПК". Киев; 1996.

2. Штомпель Б.Н. "Использование показателя приведенных затрат для оценки эффективности капиталовложений в условиях рынка". Мн.: Агронорма, 1997, №2.

3. Штомпель Б.Н. Методические указания по прогнозированию изменения экономических показателей для выполнения технико-экономических расчетов в рыночных условиях. Мн.: Ротапринт БАТУ, 1997.

### ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РЕМОНТА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Сидорчук А.В., Тымочко В.О., Сенчук С.Р.

Львовский государственный аграрный университет, Львовская облгосадминистрация

На основании анализа организации ремонта дизельных двигателей сельскохозяйственной техники, а также научно-методических основ создания соответствующей производственной системы выявлены главные недостатки теории и практики: 1) ремонтная система создана с целью плано-предупредительного управления надежностью техники, рассчитана по стоимостному критерию централизованно-плановой экономики, функционирует неэффективно; 2) инженерные методики проектирования ремонтных предприятий не учитывают совокупного действия технологических, технических и организационных факторов на затраты ресурсов.

Научно-методические основы ресурсосберегающей системы состоят следующим: 1) рассматриваются главные причины неэффективных затрат ресурсов (в системе эксплуатации сельскохозяйственной техники и ремонта); 2) раскрываются технологические, технические и организационные особенности ремонта двигателей, их агрегатов, узлов и деталей, а также организационно-технологическое взаимодействие между первичными ремонтными мастерскими и участком централизованного ремонта двигателей; 3) обосновыва

ется методика определения целесообразной структуры региональной ресурсосберегающей системы с помощью предметно-технологического подхода; 4) рассчитываются объемы обменных двигателей, позволяющих минимизировать простой техники в ремонте; 5) обосновывается функция оптимизации радиуса действия и производственной программы участка централизованного ремонта двигателей за энергетическим критерием.

Общей методикой и программой экспериментальных исследований предусматривается: изучение спроса на ремонт разномарочных двигателей и производственных характеристик зоны действия участка их централизованного ремонта на основании моделирования; программное обеспечение исследования с помощью ПЭВМ зависимостей характеристик зоны действия участка от радиуса обслуживания; обоснование методики расчета обменных двигателей, а также энергетических затрат на ремонт.

Экспериментальные исследования позволили установить: коэффициент охвата ремонтом тракторных и комбайновых двигателей изменяется в пределах  $0,15-0,55$ ; в ремонт двигатели поступают с такими характерными дефектами: дефектами блока ( $0,19-0,23$ ); дефектами шатунно-поршневой группы ( $0,36-0,43$ ); дефектами коленчатого вала и вкладышей ( $0,29-0,39$ ); другими дефектами ( $0,03-0,05$ ). Свойства конструкционно-технологического базиса процесса их ремонта позволяют выделить одиннадцать частичных процессов, пять из которых – разборки и сборки на агрегатно-узловом уровне расчленения двигателей, их мойки, дефектации и обкатывания – испытываются в стержневой (он является характерным как для возобновления работоспособного состояния, так и восстановления технического ресурса двигателей всех марок, что предопределяет целесообразность ремонта их в общем потоке на участке централизованного ремонта, а также формирование технологических связей между стержневым и частичными процессами ремонта агрегатов, узлов, корпусных и базовых деталей; обосновать корреляционные зависимости годового спроса на ремонт, а также расстояния между участком централизованного ремонта и периферийными первичными мастерскими от радиуса действия; установить значения радиусов, при которых изменяется количество ремонтно-технологического оборудования участка. Доказано, что оптимальная производственная программа участка централизованного ремонта для условий Львовской области составляет 940 ед., а радиус действия –  $24-30,5$  км.

Целесообразные структурные изменения действующей региональной системы состоят в следующем: 1) формирование участков централизованного ремонта разных марок двигателей с оптимальной программой и радиусом действия; 2) создание при них технических обменных пунктов; 3) формирование на специализированных ремонтных предприятиях постов (участков)

восстановления изношенных деталей; 4) создание на этих предприятиях обменного фонда деталей, а также технологического автомобильного транспорта для перевозки их на участки централизованного ремонта. Реорганизация ремонтной базы позволяет снизить энергетические затраты на 27–35%.

## УСЛОВИЯ И КРИТЕРИИ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ГАРАНТИЙНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОБЕЗЛИЧЕННОГО РЕМОНТА АГРЕГАТОВ МАШИН

*Семкович А.Д., Кузьминский Р.Д.*

*Львовский государственный аграрный университет*

Важным условием эффективности агрегатноремонтного производства является гарантийное обеспечение продолжительности ремонта. С целью изучения закономерностей работы агрегатноремонтных предприятий (АПР) в условиях нестабильного входящего потока была создана имитационная модель обслуживания заказов. Суточная партия заказов на ремонт агрегатов  $q$  и интервал времени между двумя последовательными заказами  $t$  рассматривались как случайные величины, каждая со своим значением математического ожидания  $M[\delta]$ ,  $M[t]$  и коэффициента вариации  $v[\delta]$ ,  $v[t]$ . Суточная производительность (АПР)  $q$  и продолжительность производственного процесса ремонта агрегатов определялись как сумма детерминированной и случайной нормально распределенной составляющих.

Учтены следующие возможности обеспечения гарантийной продолжительности ремонта:

- 1) создание за счет АПР компенсирующего запаса объемом  $V_{\text{кз}}$  – из агрегатов, требующих ремонта;
- 2) создание обменного фонда объемом  $V_{\text{оф}}$  – из отремонтированных агрегатов;
- 3) использование резерва производительности агрегатноремонтного предприятия  $\rho_{\text{н}}$  – отношение годовой программы ремонта  $W_{\text{р}}$  к годовой производительности агрегатноремонтного предприятия  $Q_{\text{р}}$ ;
- 4) временное резервирование  $\rho_{\text{т}}$  – отношение гарантийной продолжительности ремонта агрегатов  $T_{\text{г}}$  к средней продолжительности производственного процесса их ремонта  $T_{\text{вп}}$ ;
- 5) изменение дисциплины очереди – последовательности обслуживания агрегатов.

В качестве критериев удовлетворения гарантий были использованы:

- 1) коэффициент удовлетворения гарантий  $\xi_{\text{н}}$ , который определялся как отношение количества агрегатов  $W_{\text{т}}$ , отремонтированных своевременно, к годовой программе ремонта  $W_{\text{р}}$ ;

2) средняя продолжительность сверхгарантийных простоев агрегатов в ремонте  $\theta$ .

Путем имитационного моделирования процесса обслуживания входящих потоков заказов на ремонт агрегатов различной равномерности  $v[\delta_i]$  установлено комплексное влияние различных видов резервирования на уровень гарантийного обеспечения продолжительности их ремонта для прямой и обратной дисциплин очереди.

В результате обработки результатов машинного эксперимента получены и проанализированы математические модели зависимостей коэффициентов удовлетворения гарантий  $\xi_N$  и средней продолжительности сверхгарантийных простоев  $\theta$  от коэффициента вариации суточной партии заказа на ремонт агрегатов  $v[\delta_i]$ , объемов компенсирующего запаса  $V_{kz}$  и обменного фонда  $V_{of}$  для различных значений  $\rho_N$  и  $\rho_T$ . Проверка моделей на адекватность и точность дала положительные результаты.

Установлено, что наиболее дешевым, но, одновременно, наименее эффективным способом обеспечения гарантийной продолжительности безличенного ремонта агрегатов является создание компенсирующего запаса. Для входящих потоков различной равномерности можно рекомендовать следующие соотношения  $V_{kz}/W_p = 0,03-0,05$ . Полное удовлетворение гарантийной продолжительности ремонта (с заданной доверительной вероятностью) требует создания обменного фонда. Для входящих потоков различной равномерности можно рекомендовать следующие соотношения  $V_{of}/W_p = 0,09-0,11$ . В случае отсутствия резерва агрегатов более предпочтительной является обратная дисциплина обслуживания очереди. Резервирование производительностью АРП – наиболее дорогой из рассматриваемых способов. Низкая ответственность за несоблюдение гарантий предопределяет поиск возможностей формирования годовой программы ремонта несколько выше производственных возможностей АРП ( $\rho_N > 1$ ).

## ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

*Кухта С.В., Хейфец М.Л., Яскевич В.В.  
Полоцкий государственный университет*

Предприятия ремонта и обслуживания характеризуются широкой номенклатурой изделий, применением разнообразных технологических процессов, многообразием организационных форм и особыми требованиями к оперативности и качеству функционирования производства. Концепцией автоматизации, наиболее эффективной и адекватной таким условиям, является концепция виртуального бюро, отражающая современное развитие про-

блематики комплексной автоматизации на принципах безбумажной технологии.

Виртуальное бюро — это такое подразделение, которое создается из различных служб предприятия на договорной основе, не имеет единой юридической организационной структуры, но обладает единой информационной структурой с целью создания и использования компьютерной поддержки всех этапов жизненного цикла изделий. Виртуальное бюро создается путем объединения организационных, конструкторских и технологических ресурсов различных подразделений и их интеграции, с помощью компьютерной сети с гибкой и динамичной структурой.

Создание единой открытой организационно-производственной структуры, объединяющей различные подразделения вокруг процессов, осуществляемых на этапах жизненного цикла изделий, приводит к тому, что границы между взаимодействующими подразделениями ремонта и обслуживания становятся прозрачными и подвижными.

Для сокращения сроков конструкторско-технологического согласования между различными службами и количества итераций в циклах согласования необходимо создать информационную модель процессов ремонта и обслуживания и на ее основе разработать интегрированную автоматизированную систему технической подготовки производства. Система должна иметь архив результатов проектирования в виде сохраненной «системы правил» формирования проекта выпуска изделий, что обеспечит возможность быстрого перепроектирования и модификации объектов, компактность данных, малое время доступа к ним и исключит необходимость хранения «бумаги на магнитных носителях». Единая информационная среда дает возможность объединять локальные системы из различных предметных областей в единый комплекс, что создает предпосылки для реализации концепции «виртуального бюро» не на уровне передачи конструкторско-технологической документации, а на уровне объединения информационных моделей различных объектов (узлов, деталей и т.д.) по принципу «целое—часть».

Исследование или разработка любой сложной системы, каковой является информационно-управляющая система ремонтно-обслуживающего производства, начинается с функционального анализа и моделирования системы в целом и ее подсистем. Для этой цели применяется методология IDEF0, представляющая собой совокупность методов, правил и процедур, предназначенных для построения функциональной структуры сложных иерархических систем.

Результаты функционального анализа позволяют перейти к решению проблемы структурного синтеза. Для этого необходимо построить И/ИЛИ граф (концептуальный), содержащий все возможные альтернативы построения

принципиальных схем. Основу этого графа составляет дерево механизмов реализации функциональных блоков, полученное в результате декомпозиции по методологии IDEF0. Корнем этого дерева является наименование изделия, а ветвями первого уровня – наименования основных функциональных узлов. При необходимости дальнейшей декомпозиции могут быть получены ветви последующих уровней. Помимо иерархических связей, налагаемых концептуальным графом, объекты имеют связи наследования атрибутов, позволяющие им обмениваться информацией.

Создание единой базы данных изделий и на этой основе информационно-управляющей структуры называют созданием виртуального бюро. При реализации таких крупных проектов, как ремонт двигателя автомобиля, необходимо объединить различные виды организационной деятельности на едином методологическом базисе, в качестве которого используются принципы и соответствующие спецификации концептуального проектирования. Эти принципы и спецификации формировались на основе следующих предположений: 1) в реализации проекта участвуют многие подразделения различных предприятий, которые реализуют различные процессы ремонта и обслуживания; 2) все подразделения, участвующие в данном процессе, имеют один объект реализации; 3) подразделения, участвующие в проекте, выполняют разные функции: конструкторов, технологов, экономистов, и т. д.

Реализация этих принципов способствует увеличению технических, производственных и экономических возможностей предприятия посредством организации динамичного взаимодействия между структурными подразделениями, повышению качества управления и проектирования за счет более оперативного и полного использования информации о ходе производственного процесса, о материальных, финансовых, энергетических потоках, о запасах сырья и материалов.

С учетом изложенного в разработанной методологии выделяются четыре вида описаний, использованных в концептуальном проектировании виртуального бюро ремонтного производства:

1. Структурные спецификации — это описание структуры сложного изделия с точки зрения составляющих его конструктивно-технологических элементов для обеспечения реализуемости функциональных спецификаций в рамках рассматриваемого виртуального бюро. В основе структурных спецификаций (структурных моделей) лежат конструктивно-технологические элементы, декомпозируемые в соответствии с определенными правилами, за каждым из которых закрепляется один или несколько технологических процессов, средств оснащения, описанных в функциональных спецификациях виртуального бюро.

2. Функциональные спецификации — это описание функционирования виртуального бюро по выпуску изделия на всех этапах его жизненного цикла.

3. Коммуникационные спецификации — это описание виртуального бюро по выпуску изделия с точки зрения формирования требующихся для его функционирования информационных и материальных потоков и технических средств для этих потоков.

4. Информационные спецификации — это описание виртуального бюро по созданию изделия с точки зрения структуры информационных потоков в его рамках.

При этом все изложенное увязывается с тем оснащением и производственным оборудованием, которыми располагают подразделения предприятия, входящие в состав виртуального бюро.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД**

*Науменко А.А., Полиский А.Я., Омельченко Л.В.*

*Харьковский государственный технический университет сельского  
хозяйства*

В последние годы на рынок сельскохозяйственной техники Украины поступило значительное количество тракторов и комбайнов зарубежного производства. Для обеспечения надежной работы этих машин требуется гарантийный запас деталей, узлов, агрегатов (далее элементов) для оперативного ремонта.

Очевидно, чем чаще отказывает определенный элемент, тем больше их должно находиться в запасе. С другой стороны излишек на складе превращается в омертвленный капитал, не приносящий прибыли.

Нами был проведен анализ наработки на отказ элементов 165-ти зерноуборочных комбайнов “Бизон БСЗ-110” во время уборки урожая 1998 года. При средней наработки на комбайнер 380 моточасов намолот составил 2,2 тысяч тонн на одну машину. Из-за отсутствия необходимых запчастей суммарный простой комбайнов составил 480 моточасов, что повлекло за собой значительные экономические потери.

Перечень основных отказов элементов зерноуборочных комбайнов, входящих на сто машин парка, представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Перечень отказавших элементов зерноуборочного комбайна «Бизон БСЗ-110» на сто машин

№ пп	Наименование отказавших элементов	Количество отказов
1	Двигатель SW 680/17/1	39
2	Ножовая полоса (Режущий аппарат)	543
3	Привод режущего аппарата	18
4	Шнек жатки	144
5	Гидравлика жатки	35
6	Привод наклонного транспортера	341
7	Вал реверса	39
8	Подшипник Д-208	85
9	Молотильный барабан	7
10	Привод соломотряса	7
11	Датчик ЕТА Т2000/193	12
12	Ротор вентилятора	76
13	Нижний шнек колосового транспортера	18
14	Гидравлический насос гидростатической системы	9
15	Вентилятор охлаждения масляного радиатора	10
16	Пульт управления электрооборудованием	31
17	Электрооборудование системы копирования	34
18	Стартер механизма реверса R10z	22
19	Насос гидравлической системы	21
20	Масляный бак гидросистемы	12
21	Гидравлическая система копирования	15
22	Система охлаждения двигателя	18
23	Бортовой компьютер	10

Из таблицы 1.1 следует, что наибольшее число отказов приходится на режущий аппарат, что связано, в первую очередь, с засоренностью полей камнями. Сравнительно невысокую степень надежности имеет привод наклонного транспортера. Приведенные исследования показали, что слабым звеном в дан-

ном механизме является вал. В момент включения механизма реверса наклонного транспортера возникают значительные осевые нагрузки, которые приводят к смещению вала в подшипниках, в результате чего они разрушаются. Кроме того, при осевом смещении вала имеют место случаи самопроизвольного включения стартера механизма реверса, что вызывает короткое замыкание его обмоток. В таблице 1.2. представлены результаты обработки данных наработки на отказ элементов механизма реверса наклонного транспортера.

Таблица 1.2

**РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НАРАБОТКИ НА ОТКАЗ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЗМА РЕВЕРСА НАКЛОННОГО ТРАНСПОРТЕРА ЗЕРНУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА "БИЗОН БС3-110"**

№ п/п	Наименование элемента	Статистические параметры наработки на отказ						
		Объем выборки	Среднее значение наработки (мч)	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Число степеней свободы	Табличное значение критерия Пирсона	Расчетное значение критерия Пирсона
		n	x	s	γ	k	$\chi^2_{0,05}$	$\chi^2_{0,05}$
1	Вал реверса	64	267	93	0,348	3	7,8	3,13
2	Подшипник Д-208	104	263	101	0,383	4	9,5	5,77
3	Стартер R-10z	35	234	104	0,446	2	6	1,54

Нулевая гипотеза распределения случайной величины отказов не противоречит нормальному распределению по критерию Пирсона  $\chi^2$ . Из таблицы 1.2 следует, что для всех элементов механизма реверса расчетные значения  $\chi^2$  не превышают критических значений, то есть гипотеза о нормальном распределении случайной величины отказов не отвергается. В этом случае фонд запасных частей можно определить по формуле:

$$K_i(t) - L_i(t) + t_p n (t/T_i)^{0,5}, \quad (1.1)$$

где  $K_i(t)$  – число  $i$ -ых элементов, хранящихся на складе с учетом наработки;

$L_i(t)$  – число отказов  $i$ -ых элементов;

$$L_i(t) = 100m(t/T_i; n^2/2 - 0,5) \quad (1.2)$$

$t_p$  – квантиль распределения наработки на отказ;

$\eta$  – коэффициент вариации наработки на отказ;

$t$  – планируемая наработка;

$T_1$  – средняя наработка на отказ:

$$T_1 = 100m / (Nk_1), \quad (1.3)$$

где  $m$  – наличие одноименных элементов в одной машине;

$N$  – годовая средняя норма расхода  $i$ -го элемента на сто машин;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий долю элементов, отказывающихся в предстоящий период наработки.

Пример определения гарантийного запаса элементов машины. Необходимо установить гарантийный запас подшипников Д-208 с учетом предстоящей наработки ( $t$ ) 400 моточасов. Годовая норма ( $N$ ) расхода его на 100 комбайнов 85 шт., число подшипников ( $m$ ) на одной машине – 2 шт., коэффициент  $k_1 = 0,6$ .

Решение. По формуле (1.2) определяем среднюю наработку подшипника на отказ:

$$T_1 = 100 \times 2 / [85 \times 0,6] = 3,9 \text{ лет или } 3,9 \times 400 = 1570 \text{ моточасов.}$$

Коэффициент вариации наработки на отказ по данным таблицы 1.2 составляет 0,383. С помощью формулы 1.1 находим число отказов подшипников Д-208:

$$L_{t(400)} = 100 \times 2 \left( \frac{400}{1570} + \frac{0,383^2}{2} - 0,5 \right) = 35,33$$

Гарантийный запас подшипников находим по формуле (1), используя табличные данные, при  $P=0,99$ , коэффициент  $t_p = 2,326$ . Следовательно:

$$K_{t(400)} = 35,33 = 2,326 \times 0,383 \times \left( \frac{400}{1570} \right)^{0,5} = 35,33$$

Принимаем гарантийный запас подшипников Д-208 равным 39 шт.

Полученные результаты позволяют рекомендовать применение данной методики для определения гарантийного запаса элементов сельскохозяйственной техники предприятиями, ее эксплуатирующими.

# ОСОБЕННОСТИ ОБОСНОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ МОТОРОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Миклуш В.П., Петух С.Н.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Для успешной работы в условиях рынка ремонтно-обслуживающим предприятиям приходится решать много новых и сложных задач. Прежде всего, предприятия должны сами определять номенклатуру и объем производственной программы.

Существующие методики определения программы производства, предназначенные для планового ведения хозяйства, не всегда могут быть использованы в условиях рынка. Если в первом случае предприятиям задавался объем производства, то в условиях рынка предприятия вынуждены определять его сами. Неправильно рассчитанный объем производства может в одном случае, когда программа взята больше чем спрос, привести к затовариванию продукцией, во втором случае, когда она взята меньше чем спрос, потерять прибыль.

Следовательно, необходима методика, которая будет рассчитана на применение в условиях рыночной экономики.

Производственная программа мотороремонтного предприятия может быть определена по формуле:

$$N = n_{mi} \cdot K_{opi} \cdot \gamma \cdot K_i \cdot S_{it}, \quad (1)$$

где  $n_{mi}$  – количество машин  $i$ -ой марки, используемых в данном регионе;  
 $K_{opi}$  – коэффициент среднегодового охвата капитальным ремонтом двигателей  $i$ -ой марки;

$\gamma$  – поправочный коэффициент, учитывающий средний возраст машин в парке (принимается из отношения среднего возраста машин в парке к среднему сроку службы до списания);

$K_i$  – поправочный коэффициент, отражающий зональные особенности износа и условия эксплуатации машины;

$S_{it}$  – рыночная доля  $i$ -ого мотороремонтного предприятия в момент  $t$ .

Рыночную долю мотороремонтного предприятия можно представить следующим образом:

$$S_{it} = \frac{R_{it}^{e_{it}} \cdot U_{it}^{-e_{it}} \cdot (a_{it} \cdot A_{it})^{e_{it}} \cdot (d_{it} \cdot Dit)^{e_{it}}}{\sum_{i=1}^n [R_{it}^{e_{it}} \cdot U_{it}^{-e_{it}} \cdot (a_{it} \cdot A_{it})^{e_{it}} \cdot (d_{it} \cdot D_{it})^{e_{it}}]}, \quad (2)$$

где  $S_{it}$  – предполагаемая рыночная доля  $i$ -го мотороремонтного завода в момент  $t$ ;

$R_{it}$  – показатель качества отремонтированных двигателей в момент  $t$ ;

$\Pi_{it}$  – цена ремонта двигателей  $i$ -го мотороремонтного завода в момент  $t$ ;

$A_{it}$  – расходы на рекламу  $i$ -го мотороремонтного завода в момент  $t$ ;

$D_{it}$  – расходы  $i$ -го мотороремонтного завода по сбыту продукции в момент  $t$ ;

$a_{it}$  – индекс эффективности рекламы для  $i$ -го мотороремонтного завода в момент  $t$ ;

$d_{it}$  – индекс эффективности товародвижения для  $i$ -го мотороремонтного завода в момент  $t$ ;

$e_{Ri}$ ,  $e_{\Pi i}$ ,  $e_{Ai}$ ,  $e_{Di}$  – эластичность, соответственно от качества, цены, рекламы и товародвижения для  $i$ -го мотороремонтного завода.

На определение рыночного спроса, при наличии нескольких конкурирующих предприятий в регионе, играет ряд факторов. В условиях сельского хозяйства Республики Беларусь главным фактором рыночного спроса техники остается ее качество.

Для оценки качества ремонтно-обслуживающих работ целесообразно использование показателя:

$$R = \frac{T_{изг}}{T_{изг} + T_{кр} + T_{пр} + T_{мо}}, \quad (3)$$

где  $T_{изг}$  – трудоемкость изготовления машины, ч. или цена (балансовая стоимость), руб;

$T_{кр}$ ,  $T_{пр}$ ,  $T_{мо}$  – соответственно, трудоемкость капитального, текущего ремонта, технического обслуживания за рассчитываемый период, ч. или суммарные затраты на их выполнение, руб.

Показатель «D» – расходы предприятия по сбыту продукции. Определяется для ремонтно-обслуживающих предприятий следующим образом:

$$D = Z_{т} + Z_{x, const} + Z_{x} + C_{н}, \quad (4)$$

где  $Z_{т}$  – транспортные издержки, руб;

$Z_{x, const}$  – постоянные издержки по хранению, руб.;

$Z_{x}$  – переменные издержки по хранению (с учетом величины товарных запасов), руб.;

$C_{н}$  – общая стоимость невыполненных заказов в связи с задержкой отгрузки, руб.

Коэффициенты эффективности «а» и «d» показывают эффективность 1 руб., израсходованного, соответственно, на рекламу и на развитие системы

товародвижения. Данные коэффициенты служат для оценки эффективности маркетинговой деятельности предприятия.

После подстановок формула определения рыночного спроса примет вид:

$$S_i = \frac{\left( \frac{T_{уз}}{T_{уз} + T_{кп} + T_{мп} + T_{мо}} \right)^{e_R} \cdot C^{e_{ib}} \cdot (a_{ii} \cdot A_{ii})^{e_w} \cdot (d_{ii} \cdot (Z_m + Z_{x, const} + Z_x + C_n))^{e_{iR}}}{\sum \left[ \left( \frac{T_{уз}}{T_{уз} + T_{кп} + T_{мп} + T_{мо}} \right)^{e_R} \cdot C^{e_{iR}} \cdot (a_{ii} \cdot A_{ii})^{e_w} \cdot (d_{ii} \cdot (Z_m + Z_{x, const} + Z_x + C_n))^{e_{iR}} \right]}$$

Таким образом, предлагаемый метод позволяет научно обоснованно рассчитывать долю конкретного предприятия в рыночном спросе на определенные виды услуг технического сервиса в регионе.

### ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЗЕРВА СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАШИН ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

*Миклуш В.П., Круглый П.Е.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Система обеспечения машин технологического комплекса резервными составными частями может рассматриваться как система массового обслуживания с ограниченным входящим потоком требований с ожиданием. В данном случае обслуживающие аппараты – резервные составные части (к примеру, запасные агрегаты). Каждый агрегат обслуживает одновременно одно требование. Если в момент поступления в систему требования (отказавшего комбайна) имеется хоть один запасной агрегат, немедленно начинается обслуживание. Оно продолжается до тех пор, пока на склад вместо выданного исправного агрегата не поступит новый или отремонтированный. Таким образом, под временем обслуживания здесь понимается время оборота агрегата (время от момента выдачи агрегата со склада до момента поступления вместо него нового или отремонтированного). Экспериментальные исследования показали, что это время распределено экспоненциально. Поток требований, поступающих в систему, есть поток отказов  $i$ -ых агрегатов, требующих их замены, с параметром  $\gamma$ .

Функционал оптимизации резерва составных частей формируется с учетом ущерба от простоя машин из-за отсутствия запасных агрегатов, а также издержек от хранения запаса, отнесенных к одной машине:

$$\gamma_a(m, n_i) = \frac{C_m(1+y_0) \sum_{k=n_i+1}^m \frac{(m-1)!}{n_i!} \frac{(k-n_i)\alpha^k}{n_i^{k-n_i}(n_i-k)!} + C_s \sum_{k=0}^{n_i} \frac{(n_i-k)(m-1)!\alpha^k}{k!(m-k)!}}{\sum_{k=0}^{n_i} \frac{m!\alpha^k}{k!(m-k)!} + \sum_{k=n_i+1}^m \frac{m!\alpha^k}{n_i^{k-n_i}n_i!(m-k)!}}, \quad (1)$$

где  $C_m$  – ущерб от простоя машины и работающего на ней персонала;  
 $y_0$  – коэффициент, учитывающий потери от простоя сопряженных средств механизации в долях от стоимости простоя основных машин;

$m$  – парк машин технологического комплекса;

$n_i$  – количество запасных агрегатов;

$$\alpha = \frac{\lambda_i}{v_i}; \quad v = \frac{1}{t_{ю}}$$

$\lambda_i$  – параметр потока отказов, требующих замены  $i$ -го агрегата;

$t_{ю}$  – время оборота  $i$ -го агрегата;

$C_s$  – стоимость хранения одного агрегата на складе, отнесенная к одному часу работы машины.

Результаты оптимизации резерва составных частей машин проиллюстрируем на примере комкодавителя и полотна основного элеватора картофелеуборочного комбайна, как наиболее ненадежных. Величины, входящие в зависимость (1), при расчетах приняты следующими. Параметр потока отказов (требующих замены составной части) комкодавителя 0,02 и полотна основного элеватора 0,025 ч<sup>-1</sup>. Параметр потока замен  $v_i$  составил 0,10 и 0,07 ч<sup>-1</sup> соответственно. Тогда приведенная плотность потока  $\alpha$  для комкодавителя 0,20, а для полотна элеватора 0,35.

Отношение оптимального резерва к величине парка комбайнов с увеличением последнего уменьшается. Так, если при пяти комбайнах указанное отношение для комкодавителя составляет 0,60, то для 11 оно уменьшается до 0,45, а для 18 – до 0,39. Для полотна основного элеватора это соотношение соответственно составило: 0,60; 0,54; 0,44. С возрастанием числа картофелеуборочных комбайнов в комплексе удельные затраты  $\gamma_a(m, n_i)$  снижаются.

## † ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Круглый П.Е., Круглый С.П.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Наиболее эффективный вид транспорта и организацию перевозок выбирают путем сравнения нескольких вариантов по технико-экономическим по-

казателям. При этом рассчитывают затраты, связанные с капитальными вложениями, содержанием и эксплуатацией транспорта.

Оптимальным считают вариант, при котором прибыль от транспортирования единицы выпускаемой продукции будет максимальной или затраты на перевозку единицы груза – минимальными.

В силу специфики внутривозовского транспорта его оптимизация осуществляется путем минимизации затрат на перевозку единицы выпускаемой продукции. Задачи оптимизации решают поэтапно. Сначала разрабатывают маршруты движения транспорта и минимизируют их по протяженности холостых пробегов. Затем выбирают вид подъемно-транспортного оборудования и осуществляют оптимизацию методами линейного программирования как правило, с использованием персональных компьютеров. Это транспортная задача.

Транспортная задача, как частный случай общей задачи линейного программирования, может быть поставлена в следующем виде.

Требуется составить такую схему (план) грузоперевозок, при которой будет полностью удовлетворяться спрос на перемещение груза и соблюдаться график перевозок, а затраты на транспортирование  $C$  будут минимальными.

Предположим, что на ремонтно-обслуживающем предприятии имеется  $m$  подразделений, из которых отправляется груз (пунктов отправления), и  $n$  подразделений – пунктов назначения. Заданы размеры отправления (ресурсы) –  $a_i$  и прибытия (спрос) –  $b_j$  по конкретному пункту в тоннах или других единицах. Известна стоимость перевозки единицы груза от каждого пункта отправления до определенного пункта назначения  $C_{ij}$ .

План перевозок представляется матрицей, строки которой соответствуют пунктам отправления, столбцы пунктам назначения.

В каждом элементе матрицы (клетке) в верхнем левом углу проставляются стоимости перевозки  $C_{ij}$ , а в правом нижнем – возможные размеры перевозок  $X_{ij}$ . Затраты на одну перевозку с пункта отправления  $i$  на пункт назначения  $j$  можно выразить произведением  $C_{ij} X_{ij}$ .

Таким образом, в общем виде транспортная задача линейного программирования формулируется следующим образом: необходимо привести к минимуму линейную функцию

$$C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

с неотрицательными аргументами, связанными системой линейных ограничений

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n X_{ij} &= a_i, \quad (i = 1, 2, \dots, m); \\ \sum_{i=1}^m X_{ij} &= b_j, \quad (j = 1, 2, \dots, n); \\ X_{ij} &\geq 0, \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Транспортная задача может иметь две формы: замкнутую модель, если общие размеры отправления груза со всех пунктов и прибытия во все пункты назначения равны

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j, \quad (3)$$

и открытую, если не равны

$$\sum_{i=1}^m a_i \neq \sum_{j=1}^n b_j. \quad (4)$$

Открытую модель всегда можно привести к замкнутой, введя фиктивный пункт назначения, когда ресурсы превышают потребности, либо фиктивный пункт отправления, если потребности превышают ресурсы.

Решение транспортной задачи, как правило, состоит из двух этапов: построения исходного или начального плана с использованием определенных методов и приемов; опираясь на начальный план, последовательно однообразными математическими действиями (итерациями) переходят к другому, улучшенному плану, до тех пор, пока не достигнут оптимального решения.

Начальным может быть любой базисный план. Однако время решения задачи зависит от числа итераций, которые необходимо сделать, чтобы прийти к оптимальному плану. Чем лучше начальный план, тем меньше число итераций надо сделать и, следовательно, затратить меньше времени на решение задачи.

Для решения приведенной выше задачи разработана программа расчета, реализующая метод линейной оптимизации с применением ПЭВМ типа IBM с операционной системой Windows 95 с приложением Microsoft Excel 7.0 (либо Microsoft Excel 97).

## К ОБОСНОВАНИЮ СТРУКТУРЫ ДИЛЕРСКОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ В АПК

*Петух С.Н.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Как показывает анализ опыта стран с рыночной экономикой, основными исполнителями технического сервиса сельскохозяйственной техники могут быть:

- первичные сервисные предприятия (объединения);
- ремонтно-обслуживающие, снабженческо-сбытовые производства службы действующих колхозов, совхозов и других предприятий, а также объединения фермеров;
- районные сервисные предприятия (объединения);
- региональные центры технического сервиса;
- главные центры технического сервиса заводов-изготовителей;
- специализированные ремонтные предприятия;
- предприятия Агроснаба.

Следовательно, вся сложившаяся ремонтная база рассматривается как единая, хоть и делимая на отдельные кооперативы, система.

При этом неоспорима целесообразность наличия только двух видов дилеров:

- 1) завода-изготовителя,
- 2) независимых.

В сложившихся условиях все ремонтные предприятия невозможно структурно разделить и подчинить соответствующим заводам-изготовителям Республики Беларусь.

В то же время нельзя разделить сложившуюся ремонтную базу на отдельные независимые предприятия, так называемых независимых дилеров. Это связано не только с экономическими, юридическими проблемами, но и такими техническими проблемами, как размеры производственных предприятий, ремонтных мастерских, их цехов, участков и т.п.

В связи с этим предлагается следующая структура дилерской службы Республики Беларусь, где одновременно действует система фирменного технического сервиса (СФТС) и система регионального технического сервиса (СРТС), что соответствует стратегии организации ремонтной базы. При этом следует отметить временной фактор в пропорциях данной структуры. Если в зарубежных странах, в частности в США, 80% реализации технического обслуживания и ремонта тракторов осуществляется через независимых дилеров, то в Республике Беларусь в первый период, по-видимому, 90% реализации технического обслуживания и ремонта тракторов будет осуществляться через дилеров под патронажем заводов-изготовителей. В дальнейшем объемы реализации, обслуживания и ремонта, если учитывать опыт других стран, будут перераспределяться в сторону независимых дилеров. В первый период в качестве дилеров заводов-изготовителей выступают специализированные ремонтные предприятия, а в качестве независимых дилеров могут стать обменные пункты, мастерские общего назначения и т.п.

Выбор организационной структуры дилерской службы для условий Республики Беларусь должен основываться на рациональном использовании

как имеющих специализированных предприятий, так и других ремонтно-обслуживающих предприятий. В связи с этим, обобщив опыт стран с рыночной экономикой, предлагается следующая схема организации технического сервиса на основе дилерских центров (рис.1).

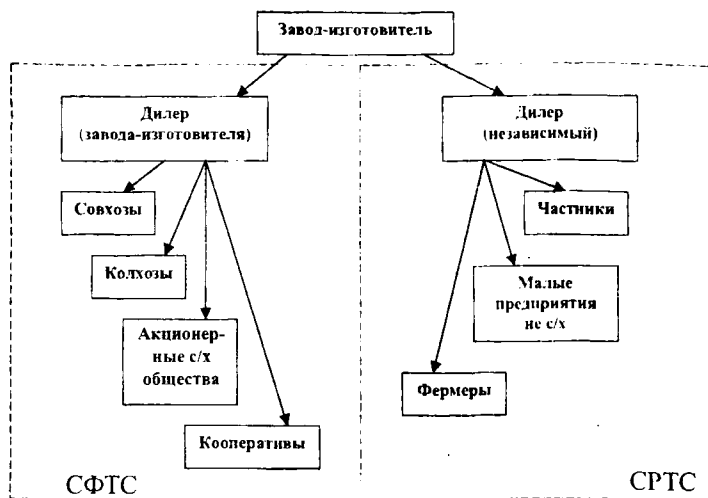


Рис.1. Структурная схема дилерской службы АПК.

Таким образом, в условиях рыночных отношений, заводы-изготовители должны быть заинтересованы в качественном техническом сервисе. Зарубежный потребитель не просто покупает машину, а и гарантированный эффект от ее эксплуатации. В этом случае векторы интересов завода-изготовителя и специализированных ремонтных предприятий совпадают.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ФУНКЦИОНИРОВАНИЮ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Мисун Л.В., Белаш А.И., Милаш Е.А., Дубновицкий Ю.С.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Массированное воздействие человеческой деятельности на окружающую среду является характерной чертой эволюции сельского хозяйства. Чтобы уменьшить воздействие ремонтно-обслуживающих предприятий (РОП) на природную среду, необходимо соблюдать социально-экологические и правовые аспекты развития конкретного региона страны.

Первоначальным моментом служит включение РОП в государственную систему учета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, разработка проекта плана по охране атмосферного воздуха и ведомственных просектов по установлению нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) вредных элементов от технологических линий и процессов. Каждое предприятие имеет категорию опасности (КОП) в зависимости от массы и состава выбрасываемых веществ в атмосферу. Для определения КОП используются значения среднесуточных предельно допустимых концентраций (ПДК), или максимально разовых ПДК, или значение безопасных уровней воздействия на окружающую среду (ОБУВ), или уменьшенные в 10 раз значения ПДК рабочей зоны. При отсутствии информации о ПДК или ОБУВ значение КОП приравнивается к массе выбросов от производственных участков ремонтно-обслуживающих предприятий. В зависимости от КОП определяется периодичность отчетности РОП в системе госучета выбросов загрязняющих веществ в природную среду.

Выбор площадки для строительства ремонтно-обслуживающего предприятия осуществляют в соответствии с земельным, водным и лесным законодательствами с учетом требований охраны окружающей среды (ООС). Так, производства с источниками загрязнения воздуха веществами 1 и 2-го классов опасности не следует размещать в районах с частыми туманами (более 40% времени за год) и малыми скоростями ветра (до 1 м/с). Такие объекты необходимо располагать с подветренной стороны по отношению к жилой застройке с учетом выбросов преобладающего направления. Размеры санитарно-защитных зон устанавливаются в зависимости от мощности предприятия, условий осуществления технологического процесса, качественного и количественного состава выделяемых в окружающую среду вредных веществ.

При внедрении техпроцессов в ремонтное производство следует учитывать, что наибольшая эффективность в защите воздушной среды достигается при одновременном сочетании технологических, санитарно-технических и объемно-планировочных мероприятий. В таблице приведен статистический анализ внедрения указанных мероприятий по областям за 1997 год.

Расчет убытков за сверхнормативное загрязнение воздуха стационарными объектами определяется для каждого источника или группы источников выбросов по всем загрязняющим веществам, исходя из суммы экологического налога за месячный выброс соответствующего ингредиента в пределах лимита. При этом учитывается экологическая значимость территории размещения предприятия; степень превышения норм ПДВ  $i$ -го вещества  $j$ -го источника; коэффициент изменения цен в текущем периоде по сравнению с базовым, когда были утверждены ставки налога за загрязнение атмосферного воздуха.

Проведение мероприятий по уменьшению выбросов загрязняющих веществ  
в атмосферный воздух от стационарных источников

Мероприятие	РБ	Брестская обл.	Витебская обл.	Гомельская обл.	Гродненская обл.	Минская обл.	Могилевская обл.	г. Минск
Уменьшение выбросов ЗВ, всего, т	14671	770	8793	274	269	267	2744	1554
В том числе за счет: совершенствования технологических процессов	12225	550	8430	64	189	160	2484	348
- ввода в эксплуатацию новых ПГО сооруж.	1110	15	13	7	13	25	26	1011
- повышения эффективности действующих ПГОУ	856	30	276	4	53	72	227	194
- ликвид. ист. загр.	228	155	-	119	13	1	-	-
- прочих мероприятий	192	20	74	80	1	9	7	1

Согласно данным "Экологического бюллетеня" за 1998 год, в республике действовало около трех тысяч промпредприятий, отчитывающихся по установленной форме и насчитывающих 120,957 источников выбросов. Всего от стационарных источников загрязнения атмосферы за истекший год выделилось 2580,6 тыс. тонн вредных веществ, из них 2068,2 тыс. поступили на очистные сооружения, где 2028,1 тыс. тонн было уловлено или обезврежено. Степень очистки составила 98,1%. Всего уловлено к общему объему отходящих загрязняющих веществ 80,8%.

Наибольшее количество загрязняющих веществ выброшено предприятиями Витебской области (135,2 тыс.т), наименьшее – Гродненской (38,1 тыс.т).

В последние годы продолжалась наметившаяся с начала 90-х годов тенденция к сокращению выбросов от стационарных источников промпредприятий, в том числе и от РОП. Валовые выбросы сократились по сравнению с 1990 годом в 2,4 раза. Однако это обусловлено общим уменьшением объема производства, сменой топлива, внедрением природоохранных мероприятий и контролем за их соблюдением.

Так, за 1997 год в РБ была приостановлена производственная деятельность 14 предприятий из-за нарушения природоохранного законодательства, 3765 должностных лиц привлечены к административной ответственности.

Таким образом, повышение эффективности ремонтно-обслуживающего производства неразрывно связано с обеспечением экологической безопасности его функционирования, соблюдением норм и правил по охране окружающей среды.

## ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ МАШИН ДЛЯ ПОСАДКИ И УБОРКИ ЯГОД

*Мисун Л.В.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Для повышения качества технического уровня сельскохозяйственной техники, удовлетворения потребности в запасных частях к ней, а также для решения вопросов, связанных с ее обслуживанием, необходимо выявить фактическую надежность машин.

Надежность техники для посадки определялась непосредственно при закладке ягодных плантаций. Нарботка на отказ составила 10,35 часа, среднее время его восстановления – 0,31 часа, а коэффициент готовности – 0,97.

Для определения эксплуатационной надежности уборочных машин в течение трех лет проводились хронометражные наблюдения в ягодноводческом хозяйстве "Беларускія журавіны" Пинского района, имеющем крупнейшие в Европе плантации крупноплодной клюквы. Валовой сбор ягод составил за три года 314 тонн.

При подготовке эксперимента обосновывалось количество объектов наблюдений и длительность испытаний. Наблюдения проводились по плану  $[NMt]$ , где  $N$  – количество машин, взятых под наблюдение, условие  $M$  означает, что отказавшие машины ремонтируются, наблюдения продолжаются до возникновения  $t$  отказов. Установлены законы распределения потоков отказов, поступающих от уборочных хедеров, и времени восстановления их работоспособности. Суммарный поток отказов (всех групп сложности) составляет 0,157 1/ч на один хедер, среднее время восстановления – 0,27 ч, а приведенная плотность их потока – 0,043. Рассчитано количество постов ремонта,

необходимых для обеспечения работоспособности комплексов, содержащих от 1 до 7 хедеров для уборки ягод водным способом, определены узлы и детали, лимитирующие надежность техники.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ЭКОЛОГО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ РЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*Доморацкий В. В.*

*Полоцкий государственный университет*

На ремонтных предприятиях Республики Беларусь ежегодно накапливается более 800 тыс. т нефтесодержащих жидких отходов. Технологические процессы ремонтного производства обуславливают наличие в стоках предприятия моторных и трансмиссионных масел, промывочных жидкостей, топливных фракций, СОЖ, тяжелых нефтефракций и др. компонентов. Ремонтное предприятие сталкивается с задачей утилизации нефтесодержащих сточных вод (НССВ). С другой стороны, на ремонтном предприятии эксплуатируются отопительные и производственные котлоагрегаты, работающие на жидком топливе – мазуте. Сжигание данного топлива без сопутствующих мер охраны окружающей среды приводит к выбросу в атмосферу с продуктами сгорания вредных компонентов дымовых газов – оксидов азота, оксидов серы, оксида углерода и сажи, концентрация которых зачастую превышает в 1,5–2 раза предельно допустимые нормы.

Повышение эколого-энергетических характеристик ремонтного производства может быть достигнуто путем получения вторичного энергоресурса из НССВ предприятия и добавления полученного продукта к топочному мазуту, сжигаемому в котлоагрегатах. Переработка и сжигание жидких стоков ремонтного производства позволяет снизить объемы НССВ и частично уменьшить объем сжигаемого мазута за счет горючих фракций сточных вод. Сжигаемая водо-топливная эмульсия (ВТЭ) представляет собой смесь вторичного энергоресурса из НССВ с топочным мазутом, в которой мазут, нефтефракции жидких отходов и вода распределены равномерно по всему объему с дисперсностью 20–40 мкм. Наличие воды в синтетическом топливе оказывает благоприятное воздействие на его горение. Капля ВТЭ, попадая в зону горения, нагревается до температуры кипения воды, которая ниже температуры кипения мазута. Вскипающая вода силой давления водяных паров последовательно срывает внешние оболочки капли топлива. Капля дробится на множество мелких осколков, при этом увеличивается площадь контакта топлива с окислителем, сокращается время горения капли, улучшается теплообмен факела котла с

теплоносителем. Время горения капли ВТЭ с влагосодержанием 15% сокращается в 2,5–3 раза по сравнению со временем горения обезвоженного мазута. Вода в топливе также обуславливает понижение максимальных температур факела котла и уменьшение его длины при сохранении объема факела. Снижение максимальных температур в топке котла и сокращение времени пребывания продуктов горения в высокотемпературной зоне факела приводит к снижению содержания оксидов азота и оксидов серы в дымовых газах котла.

На кафедре "Теоретическая механика" Полоцкого государственного университета разработан способ получения вторичных энергоресурсов из НССВ и их термической утилизации (Заявка на изобретение Республики Беларусь №970255 от 16.05.97). Способ внедрен на ОАО Полоцкий завод "Проммашремонт". Получение вторичного энергоресурса включает отстаивание НССВ, отделение отстоявшейся воды и предварительное эмульгирование сепарированных нефтесодержащих фракций пневматическим излучателем. Далее осуществляется эжектирование подогретого вторичного энергоресурса магистральным мазутом, подача смеси НССВ и мазута в роторный эмульгатор. Полученная водо-топливная эмульсия распыляется паровой форсункой и сжигается в факеле в топке котла. Благодаря отстаиванию НССВ и отделению воды метод позволяет получать ВТЭ с повышенным содержанием горючих нефтефракций НССВ в водо-нефте-мазутной эмульсии, что позволяет экономить до 8% сжигаемого мазута. Применение пневматического излучателя при получении эмульсола из НССВ позволяет достичь его высокой дисперсности с диаметром капель 1–6 мкм и, как следствие, повышенной стабильности вторичного энергоресурса.

Термическая утилизация нефтесодержащих сточных вод ремонтного предприятия позволяет снизить объемы жидких стоков на 10–15% от объема сжигаемого мазута, уменьшить содержание оксидов азота на 42%, оксидов серы на 35% в дымовых газах котлоагрегата, повысить эффективность горения ВТЭ и полноту сгорания топлива.

## **ОБКАТКА ДВС: СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ**

*Чудук С. А.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Самыми сложными и наиболее изнашиваемыми агрегатами автомобилей являются двигатели, поэтому повышению их надежности и долговечности уделяется особое внимание. На авторемонтных предприятиях важнейшими операциями, завершающими технологический процесс ремонта и позволяющими определить его качество, являются обкатка и испытание двигателей.

Обкатка двигателя – важнейшая операция приработки деталей. Цель обкатки – в подготовке поверхностей трения к восприятию эксплуатационных нагрузок, а также в выявлении и устранении дефектов деталей, сборки и регулировки сопряжений.

Среди причин, снижающих эксплуатационную надежность двигателей, – недостаточный уровень технологического процесса обкатки на ремонтных предприятиях и мастерских: использование нерациональных технологий; несоблюдение режимов обкатки; отсутствие объективных методов оценки качества приработки сопряжений.

Создание микропроцессорного устройства управления обкаткой позволит решить большую часть проблем процесса:

– Сведение к минимальному уровню присутствие в структуре функционирования устройства человеческого фактора. Устройство должно работать автоматически, самостоятельно контролируя параметры процесса и совершая переход с одного этапа на другой. Таким образом, функции оператора-моториста сводятся к трем основным операциям: установке двигателя на платформу стенда, запуску процесса и снятию обкатанного двигателя после завершения процесса.

– Гибкое решение вопроса выбора количества этапов обкатки и их содержания реализацией учета индивидуального состояния каждого отдельно взятого двигателя. Этот вопрос решается периодическим снятием и анализом показаний датчиков и просчетом модели оптимального состояния двигателя на начальном этапе процесса – во время холодной обкатки. Здесь же производится отбраковка двигателей, имеющих явные дефекты сборки или изготовления (ремонта) деталей. Таким образом, будет иметь место существенная экономия электроэнергии, топлива и рабочего времени.

– Оснащение стендов устройствами управления значительно повысит их технический уровень.

– Использование в конструкции устройства датчиков, исполнительных механизмов и микроконтроллерного комплекта отечественного производства, не теряя в надежности и уровне функциональности устройства позволит достичь низкой себестоимости системы, что также является немаловажным фактором.

В итоге, устройство будет состоять из следующих компонентов :

1. Микропроцессорный блок (предварительно на базе однокристального микроконтроллера серии КМ1816).

2. Датчики (частоты вращения, крутящего момента, положения, линейного перемещения и др.).

3. Исполнительные механизмы (гидравлика).

4. Коммутационные кабели.

5. Монтажные комплекты.

Сегодня исследования в технологии обкатки направлены на изыскание методов и средств, обеспечивающих качественную приработку и эффективную оценку двигателя за минимальное время и с минимальными затратами. Но по-прежнему остается нерешенным вопрос создания устройства, обеспечивающего оптимальные режимы обкатки каждому двигателю. А именно индивидуальное отношение к каждому двигателю обеспечит расчет действительно оптимального режима его приработки, так как разброс показателей новых и в особенности отремонтированных двигателей велик. Исходя из этих положений и предполагается вести работу по совершенствованию процесса.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРОЦЕССА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА НА СЫПУЧИХ СМЕСЯХ**

*Тарушкин В.И., Городецкая Е.А.*

*Московский институт инженеров с.-х. производства, Центральный ботанический сад НАН Беларуси*

В Лаборатории биохимии и биотехнологии растений Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси разработана технология безотходной переработки картофеля. На стадии очистки практически готового продукта – пищевой картофельной муки – предлагается использование дизлектрического сепаратора нашей конструкции. Основной его узел – это оригинальная система электродов: потенциальный и вращающийся – рабочий орган.

Особое внимание при разработке дизлектрического сепаратора было уделено электроприводу. Он состоит из мотор-редуктора, цепной передачи, натяжных роликов цепи шкивов редуктора рабочего органа и щетки. Особенностью разработанной конструкции является то, что все узлы и детали являются серийно выпускаемыми, что позволяет обеспечить высокую степень ремонтоспособности и производственной готовности. Для обеспечения работы всех узлов и деталей разработаны принципиальные кинематическая и электрическая схемы.

Потеря работоспособности электросепаратора может наступить при отказе следующих элементов: электродвигатель, редуктор, автотрансформатор, высоковольтный трансформатор.

Предложенный дизлектрический сепаратор показал положительные результаты при работе на различных сыпучих материалах. Среди последних мы исследовали разделение смеси зародыша и эндосперма, как продуктов помолы зерна, очистку чая от пыли и различных механических включений, удаление стекла из пищевых отходов и костной муки, снижение зольности в

азотистых отходах. Электросепарацией можно разделять травяную резку и муку на листовую и стеблевую фракции.

Проведенные исследования позволили не только вскрыть широкие возможности электросепарирования как технологического процесса, но и наметить наиболее перспективные направления совершенствования, эксплуатации и ремонта этих устройств. Вот некоторые из них:

1. Установленная взаимосвязь показателей биохимического состава частиц сепарируемой смеси и параметров электрического поля, создаваемого на рабочем органе, позволяет обосновать уровень оптимальной информации для автоматизации процесса. Возможность моделирования процесса, обработки информации, простота регулирования тока рабочего органа, который изменяется в зависимости от качества сепарируемых смесей, создает перспективы оснащения электросепаратора микропроцессорной и персональной техникой. Это существенно облегчит управление и позволит решить важные технические и экономические проблемы. Ведь их применение способствует расширению возможностей электросепараторов, обеспечить эксплуатацию машины в более экономичных режимах, повысить ее надежность, уменьшить массу и габариты, снизить энергопотребление, сделать ее конкурентоспособной.

2. Определение возможности использования электрического поля, создаваемого системой заряженных электродов в рабочих органах (поверхностях) различных других технологических машин и приспособлениях пищевой промышленности, по которым перемещаются пищевые продукты и сыпучие смеси.

***Электросепарация позволяет:***

- улучшать условия труда (автоматизация и дистанционное управление электросепарацией; повышение производительности линии. Повышение универсальности процесса; снижение запыленности и уровня шума);

- повышать производственную готовность и снижать ремонтную потребность;

- заменять другие технические средства и приемы на очистке и разделении ( просеивание на ситах, вибросепарацию на горках);

- уменьшать потери при очистке (снижение потерь высококачественного сырья до 1–2 %);

- выделять примеси по биохимическому составу (повышение четкости и полноты разделения смесей; упрощение технологических линий; сепарирование продуктов из неочищенного и нестандартного сырья).

## КОНСТРУКТИВНО-РЕМОНТНЫЕ АСПЕКТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ (СТИРЛИНГА)

*Р.Едлиньски*

*Техническая с.-х. Академия (Быдгощ, РП)*

Основной недостаток каждого поршневого двигателя внутреннего сгорания состоит в необходимости удаления отработанного топлива из рабочего пространства и наполнения последнего новой порцией во время каждого рабочего цикла. Двигатели такого типа требуют разряда работы, обеспечивающего удовлетворительную замену порций в цилиндрах, что является определенной конструктивно-технологической трудностью и значительно увеличивает количество элементов, подверженных значительным термическим и механическим нагрузкам и, кроме того, интенсивному износу. Следует отметить, что сгорание в таких двигателях носит взрывной характер и отличаются повышенной шумностью, что, в свою очередь, оказывает негативное влияние на утомленность водителя и пассажиров. Также к недостаткам ДВС необходимо отнести трудность в регулировании токсичности выхлопных газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  и др.).

Этих и многих других недостатков сгорания внутри поршневого рабочего цилиндра можно избежать, если заполнять его постоянным количеством рабочей смеси, например, воздуха, который во время повторяющихся рабочих циклов вначале подвергается сжатию, затем нагревается, благодаря подводу тепла извне, а потом расширяется, выполняя полезную работу – подобно, сгоревшей смеси в цилиндре. Тепло, подводимое к рабочему телу, обычно получается, благодаря сгоранию топлива снаружи двигателя, и поэтому двигатели такого типа называются поршневыми двигателями внешнего сгорания, либо, – двигателями внешнего сгорания.

Несомненным преимуществом двигателей внешнего сгорания является возможность установления таких параметров сгорания, чтобы максимально ограничить наличие вредных ингредиентов в выхлопных газах. Такие двигатели оптимальным образом реализуют стремление к бережному расходу смазочных масел и сгоранию худших топлив, т.к. использование смазочных масел приближается к нулю, а внешнее сгорание позволяет использовать каждое топливо.

### **Теоретические основы двигателей Стирлинга**

Идеальный цикл работы двигателей Стирлинга состоит из четырех термодинамических процессов – двух изотермических и двух изохорических. Для иллюстрирования работы двигателей Стирлинга мы представляем его в форме цилиндра с двумя поршнями и находящимся между ними регенерато-

ром. Объем цилиндра между левым поршнем и регенератором с находящимся в нем рабочим газом высокой температуры  $T_{\max}$  представляет собой камеру расширения, а пространство между регенератором и правым поршнем, содержащее рабочий газ низкой температуры  $T_{\min}$ , образует камеру сжатия.

Во время изотермического сжатия левый поршень остается неподвижным, а правый перемещается, сжимая газ в камере сжатия. Объем газа уменьшается от  $V_1$  до  $V_2$ , давление увеличивается от  $p_1$  до  $p_2$ ; теплота  $Q_s$  отводится от пространства сжатия в окружающую среду; температура газа  $T_{\min} = \text{const}$ .

В процессе изохорического сжатия, оба поршня двигаются одновременно: правый в направлении к регенератору, левый – отодвигается от регенератора. Газ при постоянном объеме  $V_2$  переходит из камеры сдвливания через регенератор в камеру расширения. В момент прохождения газом регенератора, тепло, заключенное в материале регенератора, передается рабочему телу, в результате чего его температура возрастает и достигает значения  $T_{\max}$  – температуры объема расширения.

В процессе изотермического расширения левый поршень движется от регенератора, а правый остается неподвижным. Объем газа возрастает от  $V_3$  до  $V_4$ , давление снижается от  $p_3$  до  $p_4$ ; теплота  $Q_e$  подается к газу в камере расширения; температура газа  $T_{\max} = \text{const}$ .

В процессе изохорического расширения поршни перемещаются одновременно: левый в направлении к регенератору, правый – от регенератора. Газ при постоянном объеме возвращается из камеры расширения в камеру сжатия. При прохождении газа через регенератор, содержащееся в первом тепло передается регенератору, в результате чего температура газа снижается до уровня  $T_{\min}$  – температуры камеры сжатия.

Если количества теплоты в перечисленных процессах одинаковы, то обмен теплоты между двигателем и окружающей средой реализуется в результате подвода и отвода тепла соответственно при  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$ . Такие условия подвода и отвода тепла соответствуют условиям П закона термодинамики для максимальной эффективности цикла; поэтому тепловая эффективность цикла Стирлинга соответствует циклу Карно.

Основное преимущество цикла Стирлинга над циклом Карно лежит в замене двух изентропных процессов двумя изохорическими процессами, что значительно увеличивает поверхность  $p$ - $V$ , в результате этого для обеспечения соответствующей работы не возникает необходимости использования очень высоких рабочих давлений, как и объемов сжатия. В представленных циклах учтены одинаковые значения минимальных и максимальных температур, давлений и объемов.

Идеальный цикл Стирлинга имеет, в основном, теоретическое значение, т.к. в практике он недостижим. Это следует из того, что термодинамичес-

кие процессы являются обратимыми, а процессы сжатия и расширения являются процессами изотермическими либо изэнтропическими. Поэтому также принято, что теплообмен между стенками цилиндра и рабочим телом является либо бесконечно большим, либо нулевым. Кроме того принято, что во время процесса сжатия и расширения вся масса рабочего тела находится в соответствующих пространствах, и то, что в цилиндре происходит циклическое движение поршня, а механические и гидравлические опоры (основания) отсутствуют. И, наконец, принято предположение об идеальной регенерации тепла.

В обычном реальном двигателе перечисленные факторы, а также ряд иных значительно снижают реальную эффективность. Реальная эффективность является частью теоретической эффективности цикла Карно; это отношение называется относительной эффективностью ( $D_w$ ), а точнее:

$$D_w = \text{реальная эффективность} / \text{термическая эффективность} \\ \text{цикла Карно} = D_e / D_c.$$

Для хорошо сконструированного двигателя эффективность достигает уровня 0,4, а ее максимальный уровень может достичь 0,7.

Одной из главных причин, затрудняющих использование двигателей Стирлинга в коммерческих целях, является проблема конструкционных материалов. Некоторые части двигателя (нагреватель, камера расширения) постоянно подвержены действию высокой температуры. Уровни допустимых температур в двигателе Стирлинга несколько ниже, нежели в двигателе, работающем в режиме Отто или Дизеля, где влияние высокой температуры действует временно. В связи с этим, основываясь на сказанном, в практической реальности двигателя Стирлинга, учитывая практическую эффективность, сравнимы с двигателями внешнего сгорания.

Неоспоримым преимуществом внешнего сгорания является возможность установления таких параметров сгорания, чтобы в максимальной степени ограничить количество вредных составляющих в выхлопах. Другие преимущества это:

- простота обеспечения полного сгорания топлива и, тем самым, ограничение до минимума количества загрязняющих окружающую среду составляющих в выхлопах, которые выбрасываются практически нетоксичными;
- минимальная шумность работы;
- безотказность зажигания. Обычно зажигание ограничивается воспламенением горючей смеси, возникающей благодаря подаче топлива;
- отсутствие электронного оборудования;
- устойчив к факторам окружающей среды (например, сильное запыление);
- огромная свобода в конструктивных решениях двигателя;

- возможность использования практически любого топлива;
- непосредственная возможность использования солнечной энергии;
- возможность использования двигателей в качестве источника энергии, аккумуляторов тепла (подобно электрическим батареям).

В связи с ограничением объема, в статье представлены лишь некоторые тезисы, касающиеся двигателей внешнего сгорания – Стирлинга. Это решение даст возможность реально ограничить выброс вредных продуктов сгорания и использовать альтернативные источники энергии. Естественно, существует много причин, которые препятствуют широкому распространению таких двигателей. Идет речь, прежде всего, о регенерации тепла, изоляции, а также использовании конструкционных материалов с повышенной термической устойчивостью.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ МАШИН**

*Кудрявцев И. Ф.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Стационарные машины, составляющие основной машинный парк в народном хозяйстве, в работу приводятся с помощью электропривода. Они потребляют около 70% всей электроэнергии. Поэтому большой государственной проблемой является снижение их электроемкости, которая все еще во многих машинах остается сравнительно большой и значительно превышает энергоемкость аналогичных зарубежных образцов. Ввиду громоздкости и несовершенства отдельных образцов машин они имеют значительную мощность холостого хода, снижающую КПД машины, особенно при недогрузках.

Энергосбережение в электроприводных машинах можно осуществлять как за счет снижения энергоемкости, так и путем энергосберегающей эксплуатации. Энергоемкость машины обуславливается совершенством технологического процесса, качеством конструкции машины и, плавным образом, количеством потребляемой электроэнергии на единицу изготавливаемой или перерабатываемой продукции, как при номинальной загрузке машины, так и при недогрузке.

В результате проведенной НИР разработана теория и приведено математическое моделирование полученных графических зависимостей загрузки электродвигателей по подводимой мощности от загрузки по току, на основании которых получены расчетные формулы для определения энергоемкости и перерасхода электроэнергии на единицу производимой или перерабатываемой продукции в зависимости от тока загрузки электродвигателей. Это позволяет в производственных условиях, контролируя загрузку электродвигателей по току и определяя перерасход электроэнергии при недогрузках машин, пре-

дотвращать этот перерасход электроэнергии путем повышения ответственности обслуживающего машины персонала и принятия соответствующих мер для номинальной или близкой к номинальной загрузке машин.

Перерасход электроэнергии на единицу перерабатываемой продукции при недогрузке машин в зависимости от тока загрузки электродвигателя  $I_{\text{хм}} < I_i < I_n$  составит:

$$\Delta\alpha_i = \frac{P_n}{\eta_n \cdot Q_n} \cdot \left[ \frac{\left( \frac{I_i}{I_n - \alpha} \right) \cdot \left( 1 - \frac{I_{\text{хв}}}{I_n} \right)}{(1 - \alpha) \cdot \left( \frac{I_i}{I_n} - \frac{I_{\text{хв}}}{I_n} \right)} - 1 \right] \quad (1)$$

и перерасход электроэнергии в процентах

$$\Delta\alpha_i \% = \left[ \frac{\left( \frac{I_i}{I_n - \alpha} \right) \cdot \left( 1 - \frac{I_{\text{хв}}}{I_n} \right)}{(1 - \alpha) \cdot \left( \frac{I_i}{I_n} - \frac{I_{\text{хв}}}{I_n} \right)} - 1 \right] \cdot 100, \quad (2)$$

где в уравнении (1)  $P_n$  и  $\eta_n$  – номинальные мощность и КПД электродвигателя машины;

$Q_n$  – номинальная производительность машины при номинальной загрузке электродвигателя, т/ч;

$I_i, I_n, I_{\text{хм}}$  – ток нагрузки, номинальный ток и ток электродвигателя при холостом ходе машины;

$\alpha$  – величина, равная отсекаемому 1 отрезку прямой линии на оси абсцисс, заменяющей кривую для соответствующей группы электродвигателей,  $I_0/I_n$  (л. 1);

$P_n/\eta_n \cdot Q_n$  – номинальная энергоемкость машины, (кВт ч/т) при номинальной загрузке машины и электродвигателя.

Произведение номинальной энергоемкости на первый член в скобках уравнения (1) представляет собой повышенную энергоемкость машины при недогрузке.

Предложенный способ контроля перерасхода электроэнергии не требует каких-либо дополнительных капитальных или материальных затрат, так как в комплект станций управления машинами входит амперметр, с помощью которого можно замерять ток нагрузки электродвигателя машины. Недопущение работы машин с недогрузкой позволит не только экономить электроэнергию, но и повысить производительность труда, сократить время работы с предотвращением повышенного износа оборудования.

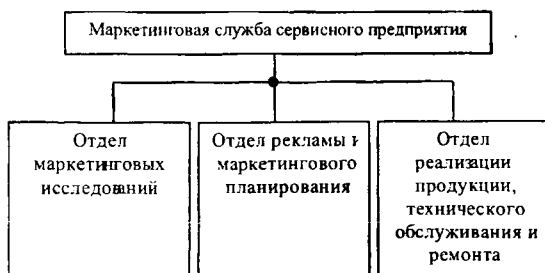
## МАРКЕТИНГОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

*Королев А.В.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

В условиях низкой платежеспособности производителей сельскохозяйственной продукции, снижения объемов продукции, уменьшения парка машин, перед сервисными предприятиями возникает потребность в определении наиболее рациональной структуры деятельности, выработке стратегии и тактики действий, исходя из стратегической задачи "выживания".

В сложившейся ситуации особая роль отводится маркетингу как рыночной концепции управления производством и реализацией товаров, услуг. Необходимо уделить должное внимание процессу становления и развития маркетинговых служб заводов-производителей техники, сервисных предприятий и производителей сельскохозяйственной продукции. На рис. 1 представлена примерная организационная структура маркетинговой службы сервисного предприятия.



*Рис 1. Примерная организационная структура маркетинговой службы сервисного предприятия.*

Наряду с функциональной организацией маркетинговой службы сервисного предприятия (рис 1.) возможна организация по продукту (товарному продукту) или видам услуг, в зависимости от объема производства, ассортимента и т.д.

Маркетинговая деятельность предприятий технического сервиса предполагает решение ряда задач:

- изучение спроса на технический сервис;
- классификация потребителей и заказчиков по видам требуемых услуг;
- активное участие в формировании спроса в соответствии с финансовыми возможностями заказчиков (реклама);
- быстрое приспособление к требованиям заказчика;

- обеспечение гибкости в ценообразовании в соответствии со спросом и предложением;
- увязка ресурсов предприятия с внешними условиями;
- ориентация на достижение максимального результата предпринимательской деятельности

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ

*Бохан Н.И.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Неудовлетворительная очистка деталей перед сборкой приводит к снижению послеремонтного ресурса двигателей самоходных машин на 20–30%, хотя в технологическом процессе ремонта двигателей очистка составляет 6–12% общей трудоемкости. Первостепенное влияние на эффективность процесса очистки оказывают три основных фактора или параметра: концентрация моющего раствора, слагаемая из содержания в моющей среде СМС (синтетических моющих средств), количество отмытых стабилизированных загрязнений и температура раствора.

В ряде выполненных и опубликованных ранее нами работ обоснованы три информативных параметра контроля и регулирования концентрации водных растворов СМС: оптический (оптическая плотность), удельная электропроводность и скорость распространения ультразвука в растворах.

При этом температура моющего раствора оказывает существенное влияние на каждый из этих параметров. В настоящее время в производственных условиях контроль качества моющих растворов (МР) осуществляется по их плотности и щелочности (рН) путем химического анализа, длительность которого составляет около 1,5 часа, результаты измерений не отличаются стабильностью из-за разной природы отмытых загрязнений. Масляные и механические загрязнения моющих растворов неоднородные по химическому составу, что практически не позволяет написать для них химические формулы и реакции взаимодействия с моющей средой.

Обобщая известные представления о химическом и структурном составе синтетических МР, их моющую способность можно охарактеризовать так называемой суммарной концентрацией  $K_{\text{ср}}$ , которую можно представить следующим математическим выражением:

$$K_{\text{ср}} = K_{\text{мс}} + K_{\text{з}}, \text{ г/л,}$$

где  $K_{\text{мс}}$  и  $K_{\text{з}}$  – концентрация, соответственно, СМС и загрязнений в г/л.

Схематично такое представление можно изобразить

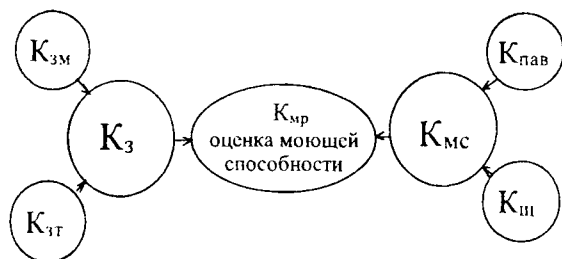


Рис.1

Концентрация загрязнений  $K_z$  состоит из концентрации в растворе масляных ( $K_{zm}$ ) и твердых ( $K_{zt}$ ) загрязнений. Концентрация моющих средств в растворах состоит из концентрации щелочных ( $K_{ш}$ ) и поверхностно-активных компонентов ( $K_{пав}$ ) СМС. В сельскохозяйственных ремонтных предприятиях применяются в основном СМС в виде водных растворов концентрацией 10–30г/л, нагретых до температуры 65–100°С, которая в процессе мойки из-за ряда мешающих факторов подвержена значительным колебаниям.

Чистые моющие растворы представляют собой водную смесь поверхностно-активных веществ (ПАВ) и сильных щелочных электролитов, являющихся компонентами СМС. Они по своей структуре относятся к истинно-коллоидным системам.

Загрязненные растворы СМС отличаются от чистых наличием отмытых в процессе очистки ремонтируемых изделий частиц загрязнений, стабилизированных в объеме МР, и относятся к эмульсиям типа масло-вода, которые образуются в результате стабилизации гидрофобных жидких загрязнений, и к суспензиям-взвесям нерастворимых в МР твердых частиц, которые образуются в результате пептизации гидрофобных твердых загрязнений. Суммарная концентрация таких загрязнений в растворах СМС достигает 60 г/л и более.

Эмульсии, образованные различными по химическому составу нефтепродуктами, входящими в состав загрязнений сельскохозяйственной техники, рассматриваются как масляная фаза раствора или масляные загрязнения, которые содержат как органические загрязнения, так и мельчайшие частицы почвы, сажи, минеральных, металлических и других примесей. Они рассматриваются как твердые (механические) загрязнения, размеры большинства которых составляют 2,5–25мкм.

Адсорбция активных компонентов СМС частицами загрязнений вызывает истощение моющих средств в растворе, т.е. адсорбированные химические компоненты моющих средств выбывают из участия в процессе моющего

действия. Они трудно отделимы от частиц загрязнений, поэтому в физико-химической структуре растворов их следует рассматривать как комплексные соединения, утратившие физико-химические свойства, которые были им присущи в чистых растворах.

По структурному составу загрязненные МР являются полидисперсными гетерогенными системами, включающими истинно-коллоидную дисперсионную среду – моющую жидкость и грубодисперсную среду – масляные и твердые загрязнения с адсорбированными на их поверхности молекулами (ионами) ПАВ и ионами щелочных электролитов.

Загрязненные МР как дисперсные системы относятся, как и чистые, к технологическим объектам автоматизации контроля и регулирования температуры и концентрации с сосредоточенными параметрами, поскольку частицы загрязнений равномерно распределены в моющей среде.

Путем обобщения теоретических представлений о физико-химии моющего действия, химическом и структурном составе растворов СМС установлено, что определяющими факторами их состояния как объектов автоматизации является температура раствора  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), концентрация СМС  $K_{\text{мс}}$  (г/л) и концентрация загрязнений  $K_z$  (г/л) (рис. 1).

На основании проведенных исследований обоснован технически возможный способ и устройства, которые позволяют в условиях ремонтного производства автоматически контролировать степень загрязнений моющих растворов и регулировать концентрацию СМС. С этой целью исследованы статические и динамические свойства серийных моечных машин как объектов автоматизации для обоснования законов регулирования температуры и концентрации МР. Наиболее эффективными параметрами контроля концентрации СМС является электропроводность, скорость распространения ультразвука в растворах и их оптическая плотность. Техническая реализация устройства контроля этих параметров может обеспечить контроль МР на ионно-молекулярном и дисперсном уровнях с достаточной точностью.

Исследование акустических характеристик производственных моющих растворов различной загрязненности в диапазоне частот 2,5...25 МГц, обеспечиваемом современной измерительной аппаратурой, показало, что в исследуемом диапазоне частот скорость распространения ультразвука в чистых растворах не зависит от частоты (длины волны) акустических колебаний. С увеличением концентрации отмытых загрязнений  $K_z$  в растворах и повышением частоты ультразвука, начиная с  $f = 10$  МГц, наблюдается уменьшение скорости распространения ультразвуковых колебаний вследствие загрязненности моющей среды. Например, при  $K_z = 21,6$  г/л и  $f = 25$  МГц скорость ультразвука по сравнению с ее величиной на частотах 2,5-8 МГц уменьшается на 0,25%. Очевидно, что разработка методов акустического контроля и аппаратуры мо-

жет быть реализована по результатам исследований растворов на частотах  $f > 25$  МГц. Современная измерительная аппаратура такой диапазон частот пока не обеспечивает. Тем более, что акустический способ контроля является не чувствительным по отношению к содержанию поверхностно активных веществ в моющей среде. Зависимость скорости ультразвука от содержания в растворах масляных и твердых загрязнений неоднозначна и нелинейна.

Поэтому для разработки систем автоматического контроля и регулирования состава моющих растворов нами был принят способ оценки растворов по удельной электропроводности и оптической плотности при стабилизации или компенсации температурной погрешности. Удельная электропроводность является более информативным параметром контроля концентрации СМС в моющих растворах по сравнению со скоростью ультразвука и в совокупности с их оптической плотностью позволяет однозначно решить задачу оптимального концентрационного контроля, в том числе и загрязненности МР, с учетом влияния температуры. Из изложенного следует, что кондуктометрические и оптические модели (были приведены в ранее опубликованных работах) позволяют наиболее рационально (при стабилизации или компенсации влияния температуры) осуществить двухпараметрический способ контроля концентрации МР. Используя эти модели можно проектировать аппаратуру контроля и регулирования.

Полученная оптико-кондуктометрическая модель контроля состояния растворов СМС:

$$K_{\text{н}} = \frac{0,5}{b_{11}} \left[ \begin{array}{l} b_1 - 21,053b_{12}D_{\text{вп}} + b_{11}t + \\ + \sqrt{(b_1 - 21,053b_{12}D_{\text{вп}} + b_{11}t)^2 - 4b_{11}(b_0 + 21,053b_{12}D_{\text{вп}} - b_{11}t + \chi_{\text{вп}})} \end{array} \right], (1)$$

$$K_{\text{т}} = 21,053D_{\text{вп}}, (2)$$

где  $b_i$  – индивидуальные коэффициенты для конкретного типа раствора, получаемые экспериментально, положены в основу разработки устройства контроля (КМР) и систем регулирования концентрации (САРК) и температуры (САРТ).

Базовая функциональная схема устройства КМР приведена на рис.2.

Принцип действия устройства основан на совокупности измерения и пропорциональном преобразовании электрической проводимости и оптической плотности (светопропускания) контролируемой среды в электрические сигналы, функционально связанные с концентрацией СМС, загрязнений в растворе и его температуры. Конструктивно устройство КМР состоит из трех измерительных блоков преобразователей-датчиков (электропроводности, оптического и температуры) и вторичного электронного блока. Для реализации

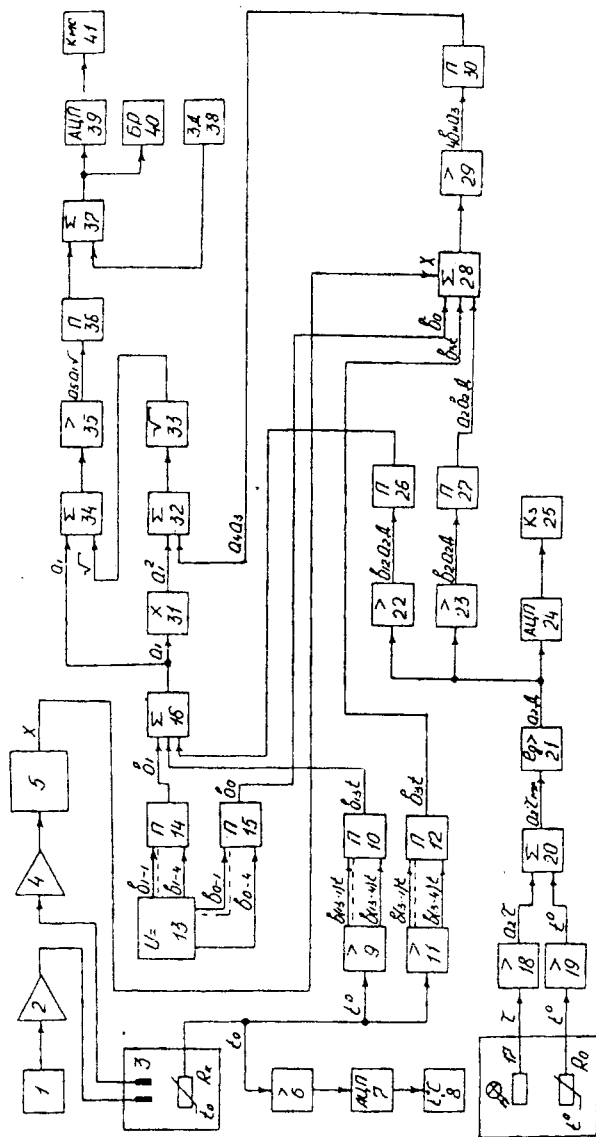


Рис. 2. Функциональная схема устройства контроля и регулирования  
основных токовых расборов

1-генератор; 2-усилитель мощности; 3-датчик электрообладалем с перемещением обкладок; 4-интерполяционный усилитель; 5-амперметр; 6, 18, 19 - компараторы усилители; 7, 24, 39 - блоки АЦП; 8-блок индикации температуры; 9, 11, 22, 23, 29, 33 - аналоговые усилители; 10, 12, 14, 15, 26, 27, 30, 36 - интеграторы; 13 - блок усилителя постоянного тока; 16, 20, 28, 32, 34, 37 - сумматоры; 17 - аналоговый делитель с перемещением обкладок; 21 - логарифмический усилитель; 25 - блок индикации концентрации водорода; 31 - инвертор; 33 - блок индикации водорода; 30 - блок задания концентрации СМС; 40 - блок регулирования; 41 - блок индикации концентрации СМС.

оптико-кондуктометрической модели в устройстве КМР были разработаны достаточно чувствительные, надежные и простые по конструкции измерительные преобразователи (погружные и проточные) с использованием не дорогостоящих материалов и комплектующих элементов оптоэлектронной техники.

Кондуктометрический канал состоит из генератора 1 синусоидальных колебаний частотой 2 кГц (для предотвращения гидролиза) с усилителем мощности 2, датчика электропроводности 3, измерительного усилителя 4 и функциональных блоков 5, 9...16, 22, 23, 26...41. Блок 9 вырабатывает сигналы  $U_{13}$ , пропорциональные индивидуальным величинам  $(b_3 t)_i$ , характеризующим тип СМС, блок 11 – сигналы  $U_3$ , пропорциональные величинам  $(b_3 t)_i$ . Блок 13 формирует сигналы  $U_1$ , пропорциональные коэффициентам  $(b_1)_i$  и  $(b_0)_i$ , блок 22 – сигналы  $U_{12}$ , пропорциональные величинам  $(21,053 b_{12} D_{\text{мр}})_i$ , блок 23 – сигналы  $U_2$ , пропорциональные величинам  $(21,053 b_2 D_{\text{мр}})_i$ , блок 29 вырабатывает сигналы  $U_{11}$ , пропорциональные величинам  $(4b_{11} a_3)_i$ , где  $a_3 = b_0 + 21,053 b_2 D_{\text{мр}} - b_3 t + \chi_{\text{мр}}$ ; блок 35 – сигналы  $U_{11}$ , пропорциональные величинам

$$\left[ 0,5 / b_{11} (a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4b_{11} a_3}) \right],$$

где  $a_1 = b_1 - 21,053 b_{12} D_{\text{мр}} + b_{13} t$ .

Переключатели 10, 12, 14, 15, 26, 27, 30, 36 служат для выбора типа СМС. Блок 39 представляет собой аналого-цифровой преобразователь.

В оптический канал входит 17, термопреобразователь (термистор)  $R_0$  светочувствительного элемента и функциональные блоки 18...21, 24, 25.

Блок 18 формирует сигнал  $U_2'$ , пропорциональный величине  $21,053 \tau_{\text{мр}}$ , где  $\tau_{\text{мр}} = 10^{-12 \text{ мр}}$  – светопропускание моющих растворов, блок 21 – сигнал  $U_2''$ , пропорциональный величине  $21,053 D_{\text{мр}}$ .

Блок 19 вырабатывает сигнал  $U_{10}$ , пропорциональный отклонению температуры светочувствительного элемента относительно 40°C, которая обеспечивается конструкцией оптического датчика с целью термостабилизации фототока на указанном уровне температуры.

Канал измерения температуры включает термопреобразователь  $R_k$  моющего раствора и функциональные блоки 6–8.

Описанное (базовое) устройство позволяет осуществить контроль концентрации СМС с погрешностью 3% (относительно химанализа) и ее регулирование, контроль загрязненности раствора с погрешностью  $\pm 0,5\%$  и контроль температуры раствора с погрешностью  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

Исключение отдельных блоков по базовой схеме в зависимости от назначения дает возможность получить ряд более простых по конструкции устройств КМР, реализованных в наших разработках.

С целью выбора оптимального закона регулирования параметров моющих растворов экспериментально определены основные динамические характеристики моечных машин (струйных) как объектов автоматического управления: время разгона  $T_p$ , постоянная времени  $T$ , время чистого запаздывания  $\tau$  и коэффициент передачи  $K$  (в относительных единицах).

Анализ полученных характеристик и передаточных функций показывает, что струйные моечные машины как объекты автоматического регулирования концентрации и температуры МР являются двухъёмкостными линейными статическими объектами (с самовыравниванием). Из критерия  $0,2 > \tau/T < 1$  следует, что для регулирования и концентрации растворов СМС наиболее эффективным является регулятор непрерывного действия. В соответствии с разработанными алгоритмами функционирования и управления состоянием МР разработаны системы регулирования концентрации (САРК) и температуры (САРТ).

Анализ динамических свойств моечных машин показал, что реализованная в них двухпозиционная САРТ не является оптимальной, так как амплитуда автоколебаний температуры по экспериментальным данным относительно заданной ее величины составляет порядка  $15^\circ\text{C}$ . Такая температурная динамика неудовлетворительно влияет на качество очистки ремонтируемой техники. Поэтому как для САРК, так и для САРТ по критерию  $\tau/T$  был выбран непрерывный закон регулирования параметров состояния. Расчет же по эмпирическим данным динамических коэффициентов регулирования ( $d$ ) для САРК и САРТ и их анализ показал, что наилучшим законом регулирования состояния МР является пропорционально-интегральный (ПИ) закон. На рис.3 приведены структурные схемы САРК и САРТ, реализующие этот закон.

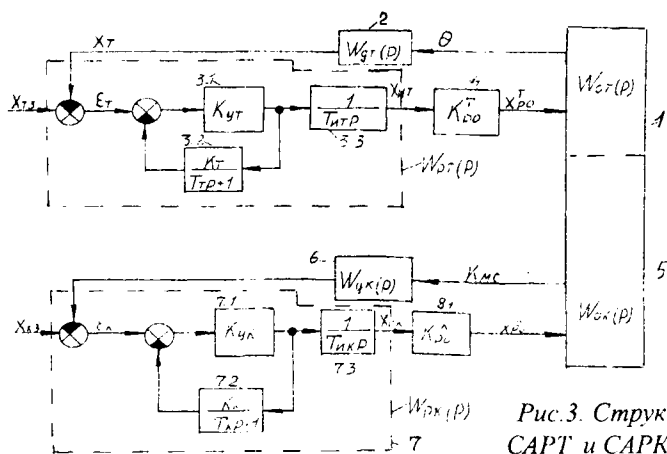


Рис.3. Структурная схема САРТ и САРК для струйных моечных машин.

В качестве ПИ-регулятора для САРТ использован промышленный регулирующий прибор типа Р25 с термометром сопротивления ТСМ-148. САРК реализована на основе устройства КМР. По результатам экспериментальных и теоретических исследований определены динамические характеристики и показатели качества САРГ и САРК, а также их оптимальные параметры настройки: коэффициенты передачи регулятора  $K_{р1}$ ,  $K_{рк}$  и время изодрома  $T_1$  и  $T_k$ .

Анализ работы систем САРК и САРТ в производственных условиях показал, что время регулирования составляет  $t_p = 0,3-2,3$  часа против  $t_p = 4$  часа установленного технологического допуска на периодичность контроля; перерегулирование составляет (17,5–19,3)% против критического  $h_{кр} = 30\%$ , запас устойчивости и по амплитуде составляет не менее 0,5, а по фазе – не менее 56 градусов, а ошибка регулирования в установившемся режиме равна нулю.

## 2. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ

### ПОРОШОК ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ И АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

*Благодарный В.М., Ильющенко А.Ф., Оковитый В.А.  
Могилевский машиностроительный институт, НИИ ПМ с ОП*

С целью улучшения износостойкости деталей их покрывают порошками из цветных металлов. Покрытия проводят, как правило, методами наплавки и плазменным. В основном используются стандартные порошки, изготовленные на металлургических и других специализированных предприятиях. Стоимость этих порошков высока.

В соответствии с темой 2026/2,6 по государственной научно-технической программе «Ресурсосбережение» проведены исследования возможности использования для антифрикционных и антикоррозионных покрытий на деталях порошков, полученных измельчением стружки цветных металлов и сплавов. Идея использования отходов для получения порошка не является новой, но для ее осуществления требуется решить определенные проблемы.

Наиболее трудная проблема состояла в том, чтобы механическим путем измельчить стружку в порошок с частицами соответствующих величин. Механический процесс измельчения предпочтителен перед другими по нескольким причинам:

во-первых, при механическом измельчении не происходит структурных изменений материала, и, следовательно, физические свойства материала остаются прежними;

во-вторых, при механическом измельчении процент потерь металла минимален;

и в-третьих, измельчение с помощью механических методов может производиться на любом предприятии, имеющем стружку цветных металлов.

В технике механического измельчения материалов известны четыре основных способа: раздавливание, раскалывание, истирание и удар. Вследствие неупорядоченности размещения измельчаемых продуктов в рабочем пространстве дробильной машины наблюдаются все способы измельчения, но всегда играет главную роль тот способ измельчения, для осуществления которого сконструирована машина. Способ измельчения зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала и его исходной крупности.

В разработанной конструкции совмещены три процесса: раздавливание, раскалывание и резание. Причем основным процессом здесь является

так называемое ударное резание, т.к. измельчаемая стружка не только раздавливается между ротором и внутренней стенкой корпуса, но и режется резцами на мелкие частицы под действием ударных динамических сил.

Разрушение стружки можно представить в виде модели, состоящей из двух тел: ударяемого тела (ротора с резцами) и тела, подвергающегося удару (стружки). После удара оставшаяся часть ударяемого тела после резания отскакивает от режущей кромки резца и начинает двигаться с большей скоростью, чем резец. Затем это тело ударяется о неподвижный нож, теряя при этом энергию и свою скорость. Резец опять настигает ударяемое тело, происходит удар и резание, тело снова получает порцию кинетической энергии и скачок скорости, и так процесс продолжается до тех пор, пока тело не достигло такой массы и объема, что резец не в состоянии попасть в него. И тогда это тело начинает двигаться со скоростью, равной скорости резца. Естественно, процесс дальнейшего измельчения за счет резания прекращается. Некоторое дальнейшее измельчение частиц все-таки может происходить за счет трения частиц между собой и трения их о поверхность ротора и внутреннюю поверхность корпуса машины.

На основе теорий колебаний и удара составляются дифференциальные уравнения движения стружки и режущей кромки резца, решение которых позволяет определить основные геометрические параметры для проектирования измельчителя заданной производительности.

Технологический процесс получения порошка из стружки цветных металлов происходит в три стадии:

1. На первой стадии производится измельчение стружки на частицы величиной 3–10 мм.
2. На второй стадии на роторном измельчителе частицы стружки измельчаются в порошок с размерами частиц от 50 до 500 мкм.
3. На третьей стадии получаемый порошок на классификаторе-разделителе делится на однородные фракции, и отделяется фракция с частицами порошка величиной до 315 мкм, остальные идут на повторное измельчение.

## **ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ РЕМОНТА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Андрушевич А.А., Казаневская И.Н., Чурик М.Н., Бакаев А.Г.  
НИИ ПМ с ОИ, ФТИ НАНБ*

В сельском хозяйстве республики эксплуатируется большое количество техники, оснащенной дизельными двигателями, для обслуживания и ремонта которых постоянно требуются запасные части, основная номенклатура которых производится за пределами Республики Беларусь и приобретается

по импорту. В тоже время на ремонтных предприятиях агропромышленного комплекса в значительных объемах образуется вторичное сырье из алюминиевых сплавов, в виде отработавших свой моторесурс деталей двигателей (поршней, блоков, головок, гидро- и пневмоаппаратуры и т.п.).

В связи с высокой стоимостью первичных материалов НИИ импульсных процессов с ОП разработана комплексная технология и организовано серийное производство алюминиевых литых заготовок деталей дизельных двигателей с использованием вторичных отходов, литьем в постоянные металлические формы.

При производстве алюминиевых отливок ответственного назначения, с использованием отходов, важное значение имеет подбор шихты, технология плавки, рафинирующе-модифицирующая обработка расплава, выбор оптимальных параметров заливки.

Приготовление алюминиевых сплавов в условиях опытного производства института включает следующие этапы:

- сортировка и разделка вторичного сырья с использованием импульсной обработки;
- переплав кусковых отходов в индукционной печи ИСТ-016 с графитовым тиглем с подшихтовкой до требуемого химического состава;
- рафинирующе-модифицирующая обработка алюминиевого расплава в электрической раздаточной печи САТ с графитовым тиглем.

Для переплава алюминиевой стружки дополнительно используется раздаточная печь типа САТ-025. С целью ускорения процесса переплава, увеличения выхода годного, снижения содержания неметаллических включений и водорода плавка ведется с использованием покровного флюса состава, % мас.:

натрий хлористый –	35–40;
калий хлористый –	40–35;
натрий фтористый –	10;
криолит –	15.

Флюс добавляется в количестве 2,5–3,0% от массы загружаемой сухой стружки. Температура металла в печи перед разливкой 720–760°C. Полученный сплав разливается в чушки массой 15 кг. Выход годного при переплаве стружки – около 80%.

Окончательное приготовление сплава АК12ММгН (ГОСТ 1583-93) для изготовления отливок поршней производится в печи типа САТ-015 с графитовым или чугунным футерованным тиглем. На этой стадии обеспечивается требуемый химический состав сплава, снижение содержания оксидных включений и водорода, а также модифицирование сплава.

Расплав, полученный из отходов, также содержит повышенное количество оксидных включений и водорода, что может привести к браку отливок.

Значительная часть водорода связана в комплексы с оксидом алюминия. Поэтому удаление оксидных включений ведет к снижению в расплаве водорода. В связи с этим предварительная очистка расплава от неметаллических включений и водорода проводится с помощью дегазирующих таблеток из расчета 0,2% от массы жидкого металла, вводимых колокольчиком или продувкой аргоном. Время обработки 10-12 минут при температуре 650–720°С.

В процессе обработки в объеме расплава образуется большое количество высокодисперсных пузырьков рафинирующего газа, действие которого проявляется как в образовании химического соединения с водородом, так и по схеме адсорбционного рафинирования, что обеспечивает хорошую очистку расплава газов и примесей.

При обработке расплава дегазирующими таблетками происходит уменьшение рассредоточенной газоусадочной пористости на 5–10%, а также дополнительно модифицируется первичный кремний, повышается жидкотекучесть на 20–30%.

После рафинирования снимается шлак, сплав выстаивается 7–10 минут и при температуре 700–730°С заливается в подготовленные формы.

Качественные заготовки деталей получают заливкой подготовленного сплава в металлические формы (кокиль), устанавливаемые на станках с гидравлическим или пневматическим приводом, в отдельных случаях применяются и ручные формы. Кокили для массивных (толстостенных) отливок снабжены, как правило, системой водяного охлаждения.

Разработанная комплексная технология обеспечивает формирование алюминиевых заготовок, которые удовлетворяют техническим требованиям по прочности, твердости, герметичности.

В качестве примера приведена технология получения заготовки основной детали дизельного двигателя-отливки поршня. Отливка в кокиле располагается днищем вверх, металл в форму подводится через боковой щелевой питатель, прибыль – верхняя расположена вдоль оси поршня. Сборка-разборка формы производится гидроцилиндрами станка. Нижний и два боковых стержня охлаждаются водой. Это повышает производительность и способствует формированию мелкозернистой структуры.

Долговечность дизельного двигателя лимитируется в основном сопряжением – "верхнее компрессионное кольцо – канавка поршня". Традиционный способ повышения износостойкости сопряжения – применение вставки из чугуна (нирезиста). Однако этот способ упрочнения очень дорогостоящий. В Физико-техническом институте НАНБ разработан метод упрочнения канавок поршней при помощи плазменной обработки с использованием легирующей присадки в виде волокнистой композиционной проволоки. Глубина упрочнения достигает 10 мм. Твердость упрочненной зоны увеличивается до

140–145 НВ. Сравнительные испытания на износ показали увеличение износоустойчивости в 2–4 раза. Однако получение плотных упрочненных зон возможно лишь при низком исходном содержании водорода в сплаве основы, что обеспечивается приведенной выше технологией приготовления сплава. Технология плазменного упрочнения поршней двигателя КАМАЗ используется на ПО "Автомобиль" (г. Минск).

Кроме отливки поршня, литьем в кокиль из алюминиевых сплавов с использованием лома производятся заготовки деталей пневмо-гидроаппаратуры, корпусов кранов, крышки, пробки и др. Качество алюминиевого литья соответствует ГОСТу и исключает необходимость их закупки за рубежом.

В институте проводятся работы по комплексной разработке технологии получения алюминиевых отливок деталей сельскохозяйственной техники на основе использования образующихся на предприятиях собственных металлоотходов, проектированию и изготовлению кокильной оснастки, производству и упрочнению отливок в соответствии с требованиями потребителя.

Освоенные мощности позволяют производить алюминиевые отливки развесом 0,2–20 кг, в количестве до 10 000 шт. в год каждого наименования.

## **К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ПОРИСТЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

*Андрушевич А.А., Капцевич В.М., Ахремчик И.В.*

*НИИ ПИМ с ОИ, БАТУ*

Пористые проницаемые материалы (ППМ) из алюминия представляют несомненный интерес с точки зрения практического использования. Они находят применение в качестве фильтров для очистки жидкостей и газов, демпферов механических колебаний, звукопоглотителей, капиллярных структур и т.п. Однако традиционные методы порошковой металлургии, основанные на получении алюминиевых порошков требуемого гранулометрического состава, прессовании и спекании, обладают ограниченными возможностями в получении таких материалов из-за наличия тугоплавкой и трудно восстанавливаемой оксидной пленки на поверхности частиц порошка алюминия. Получаемые такими методами изделия обладают низкой механической прочностью, невысокой теплопроводностью, кроме того ограничена возможность получения требуемых размеров и формы.

Для получения ППМ из алюминия предлагается использовать нетрадиционный метод, основанный на порошковой и литейной технологии.

Сущность новой технологии следующая: первоначально подготавливают пористый каркас из частиц порошка NaCl требуемого размера, а затем пропитывают его жидким расплавом алюминия. Отливку охлаждают и после

вымывания NaCl получают ППМ. Изучено влияние технологических параметров изготовления на структурные свойства ППМ из алюминия.

Предлагаемая технология обладает следующими преимуществами:

- предлагаемая технология в 5–10 раз дешевле;
- позволяет производить фасонные заготовки;
- не требует сложной оснастки и оборудования;
- позволяет использовать отходы алюминиевых сплавов;
- позволяет получать изделия повышенной прочности и высокой теплопроводности.

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

*Кацевич В.М., Корнеева В.К., Кусин Р.А.  
БАТУ, НИИ ПМ с ОП*

Фильтрующие материалы, получаемые методом порошковой металлургии, находят широкое применение в современном машиностроении, химической промышленности, сельском хозяйстве, медицине и во многих других отраслях современного производства. Их применение способствует повышению надежности и долговечности работы машин и механизмов, качества выпускаемой продукции, эффективной защите и охране окружающей среды.

Новым перспективным направлением научных исследований по получению более эффективных фильтрующих материалов является работа по целенаправленному созданию в таких материалах требуемого порораспределения, которое при правильном выборе должно обеспечивать им максимальные эксплуатационные свойства.

Анализ возможных методов изменения порораспределения фильтрующих материалов позволил выявить в качестве наиболее эффективных вибрационное формование, пластическое деформирование и осаждение.

Сущность метода виброформования заключается в сегрегации частиц порошка по размерам в поле силы тяжести при наложении вибрационных колебаний на стадии формования пористой заготовки. В результате этого процесса удается получить фильтрующие материалы, у которых размеры частиц порошка, из которых они изготовлены, а следовательно, и размеры пор плавно применяются по их толщине. Фильтры, изготовленные этим методом, имеют повышенные до 1,5 раза коэффициент проницаемости и до 3,0 раз гряземкость по сравнению с традиционными материалами.

Метод пластического деформирования позволяет также получить неоднородное порораспределение путем соответствующего выбора схемы напряженного состояния при приложении усилий и предварительно спеченной за-

готовки. В этой заготовке за счет неоднородного распределения напряжений и деформаций формируется переменное порораспределение: изменяется пористость и размеры пор по ее толщине. В качестве схем нагружения были выбраны изгиб спеченной заготовки по цилиндрической и сферической поверхности. Метод пластического деформирования позволяет получить фильтрующие изделия с повышенными в 1,3–1,5 раза коэффициентом проницаемости и в 1,4–1,6 раза грязеемкостью и ресурсом работы, при сохранении заданной тонкости фильтрации.

Метод осаждения основан на внесении более мелких частиц порошка в поровые каналы предварительно сформированной и спеченной заготовки из более крупного порошка. Он заключается в пропускании газопылевого потока через спеченную заготовку, в поровых каналах которой происходит осаждение мелких частиц из этого потока. В результате неравномерного осаждения формируется переменное порораспределение. Этот метод позволяет получить фильтрующий материал с повышенным в 4 раза коэффициентом проницаемости.

На основании проведенных исследований разработаны фильтрующие материалы для очистки горючесмазочных материалов, воды и воздуха, гомогенизации прядильных расплавов при производстве синтетических волокон и нитей, аэрации сточных вод при их биологической очистке, глушения шума и других целей. Они нашли практическое применение на Могилевском ПО "Химволокно", Минском "Водоканале", Обольском заводе кормовых добавок, Челябинском тракторном заводе, Полоцком ПО "Стекловолокно", на Бобруйском заводе "Фермаш" и других предприятиях.

Фильтрующие материалы широко используются в различных системах очистки и технологиях перерабатывающей промышленности агропромышленного комплекса. Поэтому информация о существующих и новых фильтрующих материалах, конструкциях устройств и областей их применения представляет интерес для включения в учебные программы при подготовке специалистов соответствующего профиля.

## **СТРУКТУРА И СОСТАВ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ**

*Романова Т.К.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Формирующееся покрытие при электромагнитной наплавке (ЭМН) обладает достаточной плотностью, равномерной структурой, хорошим сцеплением с подложкой и не дает трещин при формообразовании. Для нанесения по-

крытий применяли образцы из стали 45. Образцы имели следующие размеры: наружный диаметр 40 мм, внутренний 20 мм, высота 15 мм, микроструктура образца в исходном состоянии феррит и перлит. Наплавку порошка производили на экспериментальной установке ЭУ-5 при следующем технологическом режиме: величина магнитной индукции в рабочем зазоре  $B=0,9$  Тл; сила технологического тока  $I = 120$  А; удельное время наплавки  $\tau = 5$  с/см<sup>2</sup>; расход порошка  $g = 0,3$  г/с; расход СОЖ  $Q = 0,04$  дм<sup>3</sup>/с; скорость подачи  $S = 0,15$  мин/об; соотношение рабочего зазора к размеру зерен ферропорошка  $\delta/\Delta = 3,6$ . При электромагнитной наплавке с поверхностным пластическим деформированием (ЭМН с ППД) сила давления инструмента на образец  $P=1250$  Н; радиус сферы шара наконечника  $R=7$  мм. Зернистость порошка при наплавке составляла  $\Delta=320/280$ . Использовались порошки из быстрорежущих сталей Р6М5, Р6М5Ф3, Р6М5К5.

Для изучения структуры, фазового состава, распределения легирующих элементов использовали оптический микроскоп "Neophot-2"; сканирующий электронный микроскоп "Нанолаб-7" со спектром энергетической дисперсии системы 860 – SP2-500 для рентгеноструктурного анализа "ДРОН-3".

При ЭМН действие искрового разряда, проходящего через порошок, продолжается сотые доли секунды. Скорость нагрева и охлаждения расплавленных порошковых частиц достигает 150000°С/с. Таким образом, по условиям нагрева и охлаждения порошка, фактически происходит закалка быстрорежущих сталей из жидкого состояния, что и формирует структуру наплавленного слоя.

Структура поверхностного слоя, сформированная ЭМН, зависит от механизма диффузии атомов материала основы. На поверхности детали формируется упрочненный слой, состоящий из трех зон: зоны наплавленного металла, диффузионной зоны и зоны термического влияния.

Структура зоны наплавленного металла представляет собой мартенсит 60–65%, остаточный аустенит 25–30%, легированные карбиды 10–15%. Внутренний слой зоны термического влияния имеет структуру, состоящую из феррита и троостита, что говорит о нагреве этой зоны до температуры выше точки  $A_{c1}$ .

Одним из способов уплотнения наплавленного слоя является поверхностное пластическое деформирование. В этом случае меняются условия формирования покрытия. Совмещение ЭМН с ППД приводит к уменьшению микропористости в структуре, расширению зоны термического влияния, уменьшению количества остаточного аустенита. Толщина упрочненного слоя при наложении ППД возрастает примерно в 1,5 раза. Рентгеноструктурный анализ покрытий обнаружил два типа твердых растворов: с решеткой ОЦК (мартенсит) и с решеткой ГЦК (аустенит).

Образцы с нанесенной электромагнитной наплавкой с ППД покрытием подвергались трехкратному отпуску при температуре 560 °С. В результате произошло превращение остаточного аустенита в мартенсит, легирующие элементы, такие как хром, молибден, ванадий, вольфрам усилили дисперсионное твердение, выделяясь из мартенсита, а кобальт при отпуске выделился в виде интерметаллида. Таким образом, структура покрытия после ЭМН с ППД и последующим трехкратным отпуском состоит из легированного отпущенного мартенсита, дисперсионных вторичных карбидов и интерметаллидов.

Сочетание электромагнитной наплавки с ППД и последующим трехкратным отпуском привело к увеличению твердости покрытий на 6–8 единиц по HRC. Все это является предпосылкой для достижения высоких эксплуатационных свойств покрытий из порошков быстрорежущих сталей.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Т98-181.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИФФУЗИИ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКЕ

*Романова Т.К., Ефремов В.И., Хилько Д.Н.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Высокое качество покрытия при электромагнитной наплавке (ЭМН) достигается за счет получения однородного химического состава наплавленного слоя и диффузионного массопереноса легирующих элементов материала покрытия в основу.

Процесс диффузионного массопереноса при ЭМН можно представить в виде второго уравнения Фика:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 D \frac{\partial c}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где  $\partial c$  – разность концентраций;  $\partial \tau$  – продолжительность процесса;  $\partial r$  – расстояние, на котором имеет место градиент концентрации;  $D$  – коэффициент диффузии.

Приняв допущение, что процесс диффузии легирующих элементов при ЭМН квазистационарный, уравнение (1) запишется в виде:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[ r^2 D \frac{\partial c}{\partial r} \right] = 0 \quad (2)$$

Уравнение (2) равно нулю, если

$$r^2 D \frac{\partial c}{\partial r} = A = const \quad (3)$$

Отсюда,

$$\frac{\partial c}{\partial r} = \frac{A}{D \cdot r^2} = \frac{A_0}{r^2} \quad (4)$$

Интегрируя уравнение (4) с учетом граничных условий при  $C|_{r=R_0} = C_0$  и  $C|_{r=\rho} = C_1$ ,

$$C(r) = C_0 + \frac{C_0 - C_1}{R_0 - \rho} \left[ \frac{1}{R_0} - \frac{1}{r} \right] \rho \cdot R_0, \quad (5)$$

где  $C_0$  – предельная концентрация;  $C_1$  – концентрация на границе раздела фаз;  $R_0$  – радиус образца;  $\rho$  – радиус сердцевины детали, которая не подвергается обработке.

На границе раздела фаз должно соблюдаться следующее условие баланса:

$$-D \frac{\partial c}{\partial r} \Big|_{r=\rho} = C_1 \frac{\partial \rho}{\partial \tau} \quad (6)$$

С учетом (5) уравнение (6) можно записать следующим образом:

$$C_1 \frac{d\rho}{d\tau} = -D \left( \frac{C_0 - C_1}{R_0 - \rho} \right) \cdot \frac{R_0}{\rho} \quad (7)$$

Интегрируя уравнение (7), с учетом начальных условий  $\rho = R_0|_{\tau=0}$  получаем выражение для нахождения  $\rho(\tau)$ :

$$\frac{1}{R_0} \cdot \frac{\rho^3}{2} - \frac{\rho^2}{2} + \frac{R_0^2}{6} = D \left( \frac{C_0}{C_1} - 1 \right) \cdot \tau \quad (8)$$

Обозначив,  $D \left( \frac{C_0}{C_1} - 1 \right) = K$  и  $\rho = R_0 - \delta$  и, и с учетом преобразований, выражение (8) запишется в виде:

$$\frac{\delta^2}{2} - \frac{\delta^2}{3 \cdot R_0} = K \cdot \tau, \quad (9)$$

где  $\tau$  – толщина диффузионного слоя.

Комплекс  $K = D \left( \frac{C_0}{C_1} - 1 \right)$  при ЭМН изменяется по зависимости:

$$K = \exp\left(\alpha - \frac{\beta}{T}\right), \quad (10)$$

где  $\alpha, \beta$  – коэффициенты, определяемые экспериментально;  $T$  – температура.

Подставив (10) в (9), получим:

$$\frac{\delta^2}{2} - \frac{\delta^2}{3 \cdot R_0} = \exp\left(\alpha - \frac{\beta}{T}\right) \cdot \tau \quad (11)$$

Выражение (11) представляет собой математическую модель диффузии легирующих элементов при ЭМН.

Полученная математическая модель позволяет объяснить механизм диффузии в системе покрытие-основа при ЭМН, а также прогнозировать толщину диффузионного слоя.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Т98-181.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ С АДАПТИВНОЙ СВЯЗЬЮ В ПРОЦЕССАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ПОКРЫТИЯМИ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Худолей А.Л., Кузнецик О.О., Пресняков Г.А.  
Институт надежности машин НАНБ*

В настоящее время для восстановления изношенных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин широко используют электротермические методы нанесения покрытий из порошковых материалов. При внедрении такого рода технологий в ремонтное производство важно обеспечить высокую производительность и повторяемость качества наносимых покрытий в размере партии деталей. Это обуславливает необходимость разработки и применения средств автоматизации в технологических процессах нанесения покрытий.

Для автоматизации процессов индукционно-центробежного и электродного нанесения покрытий в ИНДМАШ НАНБ разработан опытный образец универсальной системы контроля, которая способна осуществлять взаимодействие с высокочастотными нагревательными установками, машинами точечной и шовной сварки. Рассмотрим тип адаптивной связи, который определил функциональную и принципиальную схемы этого устройства.

При выборе типа адаптивной связи, во внимание принималось то, что указанные процессы требуют в первую очередь строгого выполнения температурного режима.

Для реализации температурного режима выбрана схема управления по отклонению (рис.).

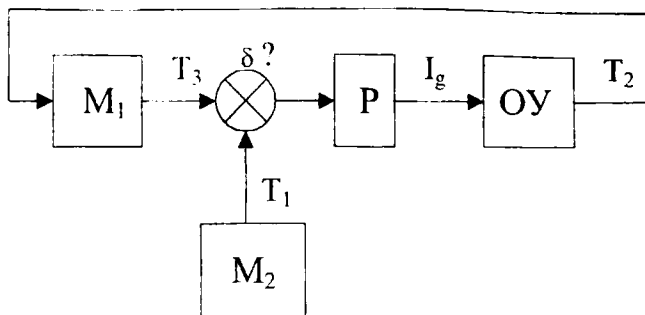


Рис. Структурная схема адаптивной связи для регулирования температурного режима.

Она осуществляет следующий алгоритм работы системы контроля. Сначала моделью  $M_2$  устанавливается во времени требуемое значение температуры  $T_1$ . Это значение поступает на схему сравнения и сравнивается с расчетным значением температуры на внутренней поверхности заготовки  $T_3$ , которое, в свою очередь, вычисляется с помощью алгоритма модели  $M_1$  на основании прямого измерения температуры внешней поверхности детали  $T_2$ .

Если параметр отклонения  $\delta > 0$  ( $\delta = T_1 - T_3$ ), т.е. текущее значение ниже требуемой температуры нагрева, то регулятор мощности  $P$  увеличивает значение электрического тока. Это приводит к тому, что объект управления  $OY$  (заготовка с порошком) начинает более интенсивно разогреваться до тех пор, пока не будет достигнута требуемая температура ( $\delta = 0$ , т.е.  $T_1 = T_3$ ).

Если параметр отклонения  $\delta < 0$ , то регулятор мощности  $P$  понижает действующее значение тока или отключает установку вообще.

Использование системы контроля с адаптивной связью в процессе центробежной наплавки покрытий позволило повысить производительность процесса на 15–20% и снизить процент брака с 8 до 2%.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛИМЕРНО-АБРАЗИВНЫМИ ВОЛОКОННЫМИ КОМПОЗИТАМИ

Устинович Д.Ф.

Физико-технический институт НАНБ

При изготовлении, ремонте и восстановлении деталей на машиностроительных предприятиях доля ручных операций среди общей величины трудозатрат является достаточно высокой. Наименее механизированы слесарные

операции скругления острых кромок, снятия заусенцев, подготовки поверхности под покрытия, очистки от окалины и следов коррозии.

Одним из методов, позволяющих повысить эффективность этих операций, является метод обработки инструментом на основе полимерно-абразивных волоконных композитов. Высокая производительность процесса достигается за счет одновременной обработки нескольких поверхностей, небольшой продолжительности цикла обработки, возможности совмещения технологических операций, групповой и поточной обработки.

Преимуществом этого метода является универсальность, заключающаяся в возможности обрабатывать различные по форме и величине детали как в условиях крупносерийного, так и в условиях единичного и мелкосерийного производства. В последнем случае использование метода осуществляется с помощью ручных электрических и пневматических средств, а также на универсальном оборудовании путем замены традиционного шлифовального и полировального инструмента.

Материалы, применяемые в качестве абразивного наполнителя композита (электрокорунд белый и нормальный, карбид кремния зеленый), используются в виде зерен зернистостью от 20 до 320 мкм. Связующее в полимерно-абразивных волоконных композитах (модифицированные полиамиды) обеспечивает закрепление абразивных зерен в волокне и удерживает их от преждевременного выкрашивания.

Результаты показали, что увеличение зернистости абразива с 100 до 250 мкм на операции снятия заусенцев размером 0,2–0,8 мм на образцах из стали 12Х18Н10Т приводит к увеличению массового съема с 0,36 г/мин до 0,82 г/мин, на образцах из сплава Д16Т – с 0,77 г/мин до 1,61 г/мин.

Производительность операции скругления острых кромок инструментом, в качестве абразивной составляющей которого использовали карбид кремния зеленый, на 12–28 % превышает показатели обработки инструментом на основе электрокорунда белого. Полученные результаты объясняются изменением условий самозатачивания режущего контура.

Анализ результатов эксперимента по удалению следов коррозии с поверхности образцов из стали 10 позволяет сделать вывод, что зачистка эффективна при зернистости абразивной составляющей 100–320 мкм. При этом обеспечивается эффективное удаление отходов из зоны обработки за счет воздушных потоков, инициированных вращением инструмента. Продолжительность процесса зачистки следов коррозии толщиной 0,05–0,3 мм составляет 15–70 с.

Полученные результаты совпадают с показателями аналогичных методов обработки волоконными композитами ведущих зарубежных фирм (Kullen & Mez, Lippert, Mink-Bursten и др.), что свидетельствует о перспективности исследования процесса.

Таким образом, на основании проведенных исследований определены технологические характеристики полимерно-абразивных волоконных композитов, которые обеспечивают максимальную производительность и рациональное использование инструмента на операциях зачистки, снятия заусенцев и скругления острых кромок.

## **ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ СЕЛЬХОЗМАШИН**

*Левин И.А., Сергиенко В.П.*

*Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАНБ*

Одной из актуальных задач в современном машиностроении является разработка новых высокоэффективных экологически чистых композиционных материалов на полимерной основе для фрикционных узлов машин и механизмов. Необходимость создания указанных материалов обусловлена потребностью машиностроения, сельского хозяйства, химической, текстильной, пищевой и перерабатывающей промышленности в изделиях данного класса (накладки муфт сцеплений, кольца, шайбы, тормозные элементы, фрикционные эластичные ленты и др.).

Проблема создания фрикционных композиционных материалов (ФКМ) связана с решением ряда задач материаловедения и технологии переработки композиционных материалов, из которых к наиболее значимым следует отнести следующие:

- ориентация на сырьевую базу республики и отходы производств,
- использование экологически чистых компонентов,
- проведение комплексных физико-химических исследований по изучению процессов совмещения ингредиентов ФКМ с целью обеспечения требуемого уровня фрикционно-износных свойств и достижения максимальной прочности адгезионной связи на границах раздела фаз при формировании композита, которая обуславливает минимальный уровень дефектности изделий,
- разработка технологии получения ФКМ с полимерной матрицей,
- изучение триботехнических и прочностных характеристик материалов, путем проведения их испытаний в широком диапазоне нагрузочных и скоростных режимов, в том числе в нагурных узлах трения, оптимизация состава ФКМ.

В процессе изготовления изделий из ФКМ зачастую возникают такие дефекты, как трещины и вздутия, обнаруживается недостаточная гомогенность материала, недопрессовки или, наоборот, большое количество пресс-материала выдавливается в облой, что приводит к необоснованному перерасходу сырья и снижению эксплуатационных характеристик деталей. Возникновение указан-

ных дефектов определяется композиционным и гранулометрическим составом, типом и количеством связующего компонента, а также технологическими факторами – температурой, давлением, временем выдержки и др.

Определены основные приемы и режимы процессов подготовки ингредиентов, совмещения компонент в процессе приготовления пресс-материала, сушки, горячего формования и термообработки, которые оказывают определяющее влияние на качество готовых изделий.

На основании расчетно-экспериментальных данных оптимизированы режимы приготовления пресс-материала и формования изделий. Обсуждается влияние технологических параметров переработки фрикционных материалов на свойства готовых изделий.

Показано, что использование разработанной технологической схемы позволит улучшить физико-механические и другие показатели материалов, сократить время подготовки пресс-материала и изготовления деталей из ФКМ, снизить энергозатраты и трудоемкость операций, уменьшить износ прессового оборудования.

Приводятся данные комплексных испытаний ФКМ, применяемых для изготовления накладок муфт сцепления, тормозных элементов и механизмов отбора мощности тракторов в сравнении с лучшими зарубежными аналогами.

Основные технические характеристики фрикционных композиционных материалов с полимерной матрицей, разработанных для сельскохозяйственных машин, приведены в таблице.

*Таблица*

*Технические характеристики фрикционных композиционных материалов с полимерной матрицей*

Наименование показателя	Диапазон средних значений
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,2-2,6
Прочность при сжатии, МПа	80-90
Коэффициент трения	
в тормозных узлах и муфтах сцепления	0,48-0,56
в механизмах отбора мощности тракторов	0,11-0,16
Интенсивность изнашивания, $\times 10^{-5}$	5-8
Длительная термостойкость, К	623-643

## ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТРАКТОРОВ МТЗ

*Гартман Е.В., Миронович Л.Л., Фалинская И.Н.*

*Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАНБ*

Износостойкие металлополимерные покрытия на деталях трибосопряжений, работающих при смазке, получают из дисперсной композиции виброхвостом способом. Основой композиции является полиамид ПА-6, выпускаемый в Республике Беларусь Гродненским ПО "Химволокно". Из гранул в дисперсное состояние полиамид ПА-6 переводят криогенным измельчением на дезинтеграторе. Порошок полиамида химически модифицируют для повышения водостойкости и адгезии получаемых покрытий к металлическим подложкам. Композиционный материал готовят сухим смешением модифицированного дисперсного полиамида ПА-6 с металлическим порошком для газотермического напыления (марка ПР-Х20Н80). Сравнительные стендовые испытания покрытий из дисперсного полиамида ПА-6 и разработанной композиции ( $P=5,0$  МПа,  $V=0,5$  м/с, смазка – масло индустриальное И-40, ГОСТ 20799-88) показали, что при трении полиамидного покрытия по стальному валу за 20 часов работы происходит износ как покрытия ( $I=4,16 \cdot 10^{-7}$ ), так и вала ( $I=9,72 \cdot 10^{-9}$ ) при коэффициенте трения  $0,035-0,032$ . В подобных условиях работы практически не было износа металлополимерного покрытия и вала, при коэффициенте трения  $0,02-0,013$ .

В отделе "Трибофизики" ИММС НАНБ совместно с ПО "Минский тракторный завод" в рамках ГНТП "Белавтотракторостроение" ведутся работы по замене игольчатых подшипников 664706 Б5 конечной планетарной передачи трактора МТЗ-1221 на втулки сателлита конечной передачи из стали 45 ГОСТ 1050-88, 241...285 НВ с двухсторонним полимерным антифрикционным покрытием на основе дисперсного металлонаполненного модифицированного полиамида ПА-6. Условия работы пары трения: максимальная нагрузка на ось сателлита 6500 кг, максимальная частота вращения сателлита при максимальной нагрузке 70 об/мин, смазка – моторные масла М-8Г2 ГОСТ 8581-78. В рамках программы проводятся исследовательские работы по замене дорогостоящей и дефицитной латуни ЛМцСКА 58-2-1-1 ТУ 48-21-15-77, используемой в конструкциях синхронизаторов тракторов МТЗ – 100/1221/1521/900/920/950/952, на кольца синхронизатора из стали 45, 229...269 НВ с поверхностями трения, напыленными полимерным фрикционным материалом. Условия работы пары трения: давление – до 15 кг/см<sup>2</sup>, максимальная окружная скорость скольжения – 19 м/с, смазка (масла трансмиссионные типа ТАП-15 и моторные типа М8, М10) разбрызгиванием и масляным туманом,

динамический коэффициент трения не менее 0,08 в диапазоне температур масла 30–100°C, в течение 100 000 включений синхронизатора. Стендовые испытания втулок сателлита и колец синхронизаторов с нанесенными композиционными полимерными покрытиями, проведенные в лаборатории КИБ шасси МТЗ, показали положительные результаты. Разработана технология нанесения покрытий триботехнического назначения на втулки сателлита конечной передачи и кольца синхронизатора, создана экспериментальная установка вибровихревого напыления УПДМ, разрабатываются технические условия на материалы.

Проведенные работы показали широкую возможность использования покрытий из металлополимерных композиций на базе дисперсного модифицированного ПА-6 в узлах трибосопряжений. Актуально также использование покрытий из разработанных материалов для замены деталей в узлах трения из дорогостоящих цветных металлов на детали из обычной стали с металлополимерным покрытием.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ В ПСЕВДОСЖИЖЕННОМ СЛОЕ**

*Миронович Л.Л., Гартман Е.В., Фалинская И.Н.*

*Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАНБ*

Один из перспективных путей увеличения срока службы деталей гидроагрегатов – применение антифрикционных композиционных полимерных покрытий, наносимых на изношенные металлические поверхности трения в псевдосжиженном слое. Метод восстановления с помощью дисперсных полимерных композиций является универсальным, может использоваться при ремонте деталей большой номенклатуры. К достоинствам его можно отнести и возможность многократного восстановления одной и той же детали.

Имеется положительный опыт использования полимерных композиционных покрытий на базе дисперсного модифицированного полиамида ПА-6 для восстановления поверхностей трения гидроагрегатов: золотники гидрораспределителей Р-75-22, Р-75-23; втулки насосов типа НШ-32, НШ-46; подшипники насосов типа НШ-10Е, НШ-6Т; компенсаторы насосов типа НШ-50У-2; пластики, обоймы подшипниковые и поджимные насосов НШ-32-2 и НШ-32-3. Испытания насосов шестеренных модели НШ46У с втулками, восстановленными композиционным дисперсным металлополимерным материалом, на всех режимах ТК 70.0001.018-81 ГОСНИТИ показали производительность 49,5 – 52,0 л/мин.

Разработанные материалы триботехнического назначения и предложенный способ восстановления изношенных деталей упрощают ремонт узлов

трения при небольших материальных затратах. Участок по восстановлению изношенных деталей может быть организован на любом ремонтном предприятии.

## **НОВЫЕ ФРИКЦИОННЫЕ БЕЗАСБЕСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА АРМИРУЮЩИХ ВОЛОКОН ДЛЯ НИХ**

*Злотников И.И., Пискунов С.В.*

*Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАНБ*

Проблема повышения экологической чистоты автотракторной техники ставит задачу создания отечественных безасбестовых фрикционных материалов для тормозных узлов и дисков сцепления. Одновременно необходимо значительное повышение фрикционно-износных и физико-механических свойств используемых материалов в связи с увеличением энергонагруженности машин и механизмов.

В данной работе изучена зависимость эксплуатационных свойств фрикционных материалов на основе фенолоформальдегидных смол от природы и механических характеристик армирующих волокон. Исследовали волокно, выпускаемое отечественными предприятиями: стеклянное, базальтовое, оксалоновое, углеродное и некоторые другие. Были проведены испытания механических и фрикционных свойств исходных волокон и материалов, армированных этими волокнами. Механические и фрикционные свойства материалов определяли по стандартным методикам, фрикционные характеристики волокон определяли на специально изготовленной лабораторной установке по схеме «нить – вращающийся ролик», ролик изготавливали из чугуна марки СЧ-25. Материалы получали путем пропитки рубленного волокна длиной 1–2 см спиртовым раствором фенолоформальдегидной смолы с добавкой соответствующих модификаторов и наполнителей, в качестве которых использовали порошки металлов (железо, медь, алюминий) и их окислов, каолин, барит, доломит, сухие смазки (графит, тальк, политетрафторэтилен).

При исследовании свойств полученных фрикционных материалов обнаружено, что между механическими свойствами волокон и механической прочностью материалов, армированных этими волокнами, нет выраженной корреляции. Это связано с тем, что механическая прочность материалов определяется в первую очередь адгезией волокна к связующему, а не максимальной прочностью волокна. Значительного повышения адгезии волокна к полимерному связующему удалось добиться использованием специально разработанного титаноорганического аппрета. Активные функциональные группы аппрета не только интенсифицируют процесс взаимодействия наполнителей со связующим, но и увеличивают степень объемного структурирования мат-

рицы, что повышает также и фрикционную теплостойкость материала. В то же время хорошо заметна корреляция между фрикционными характеристиками (в первую очередь коэффициентом трения) армирующих волокон и соответствующими свойствами готовых материалов.

На основании проведенных исследований оптимизирован состав армирующих волокон и разработаны новые фрикционные материалы на основе фенолоформальдегидных смол. Разработанные материалы характеризуются следующими свойствами:

Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	180–250
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	150–160
Твердость по Бринеллю, МПа	275–300
Интенсивность изнашивания при нагрузке 5 МПа и скорости скольжения 10 м/с, I. 108	0,5–1,4
Коэффициент трения при нагрузке 5 МПа и скорости скольжения 10 м/с	0,48–0,50

Материалы прошли испытания в узлах трения автотракторной техники и технологического оборудования и показали высокую работоспособность.

## ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ ТОНКИХ СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН

*Боровицкая Т. В., Шумов О. В.*

*Полоцкий государственный университет*

Лазерная закалка широко применяется для поверхностного упрочнения отдельных участков поверхности деталей сложной формы. При этом обеспечивается минимальная деформация этих деталей при закалке. Структура закаленного слоя – твердый мелкоигльчатый мартенсит образуется вследствие высоких скоростей охлаждения при лазерной закалке из-за отвода тепла в глубину металла. Высокая скорость охлаждения имеет место при закалке достаточно крупных деталей и практически недостижима в случае с мелкими или тонкими деталями, например, пластинами, без использования специальных теплоотводящих приспособлений.

Была разработана схема и технология лазерной закалки режущих кромок тонких, толщиной 1 мм, пластин ножей фильерной головки в растворах солей. При этом процессы нагрева детали и охлаждения происходят одновременно.

В результате получается закаленный слой на глубину до 1,2 мм, что обеспечивает возможность нескольких переточек. Это, при твердости поверхности режущей кромки ножей 56-58 HRC, дает увеличение срока службы деталей в 2-2,5 раза.

# ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННО-ВАКУУМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ

*Лойко В.А. , Хармач Б.Э.  
НИИ ПМ с ОП*

Проблема повышения надежности сельхозмашин требует создания новых технологических процессов и применения новых материалов, обеспечивающих их конкурентоспособность. Базовые детали машин должны эксплуатироваться до списания без замены и не должны подвергаться текущим ремонтным работам.

При эксплуатации поверхностный слой деталей прецизионных пар претерпевает изменения. Микродеформация рабочих поверхностей деталей приводит к местному изнашиванию, возникновению высоких удельных давлений, высоких мгновенных температур, которые распределяются в локальных зонах или воздействуют на большие поверхности. В процессе работы, в результате воздействия местных высоких удельных давлений в центральном поверхностном слое втулки и плунжера появляется структура отпуска и происходит изменение формы карбидов, например, переход пластинчатого карбида в сферический, зернистый. Наблюдается также коагуляция, заключающаяся в росте частиц карбида, и неравномерное распределение карбидов. Возникающие скопления карбидов, карбидные строчки и карбидная полосчатость являются очагами образования микротрещин и выкрашивания частиц металла при износе.

Изнашивание рабочих поверхностей деталей пар – результат действия значительных удельных давлений, которые и приводят к изменению состояния поверхностного слоя. При работе форсунки в результате резких теплообмен в цилиндре двигателя происходит мгновенный нагрев тонких поверхностных слоев иглы и корпуса распылителя.

Осаждение многослойных покрытий на рабочие поверхности плунжеров и форсунок дизелей является эффективным методом уменьшения их скорости изнашивания, коэффициента трения, существенного повышения эксплуатационных свойств.

Комбинированный слой наносился на модернизированной установке «Булат-6», оснащенной ионным источником холловского типа. В процессе операции очистки и нагрева поверхности плунжерных пар ионами металла катода была заменена обработка поверхности потоком ускоренных ионов Ag с энергиями 10...3x10x3 эВ. Металлографические исследования выполняли на оптических микроскопах «Поливар» и «MeF-2» и растровом электронном

микроскопе "Нанолаб-7". Состав, параметры решетки анализировали рентгенографически на ДРОИ-3 в медном характеристическом монохроматизированном излучении.

В качестве реакционных газов использовался азот и пропан, в качестве расходного металла катода – химически чистые молибден и хром. Поверхности плунжерных пар перед нанесением покрытий обезжиривались мочными составами в ультразвуковом поле УЗУ-0,25, промывали этиловым спиртом и просушивали в течение 10 минут при  $T = 150-200$  С. Качество обезжиривания контролировалось измерением краевого угла смачивания поверхности каплей дистиллированной воды. Краевой угол смачивания не более 5–100. Толщина слоя контролировалась металлографическим методом на поперечных шлифах при увеличении 1500 х и магнитным толщиномером МТ-20Н. Адгезионную прочность покрытий определяли на поперечных микрошлифах микроиндентированием в переходную зону. Металлографические исследования выполняли на оптических микроскопах "Поливар" и MeF-2 и растровом электронном микроскопе.

Низкотемпературный плазменно-вакуумный синтез многослойного покрытия позволяет достичь на поверхности плунжерных пар высокую адгезионную прочность (1,8–2,0 ГПа). Возможно нанесение в одном технологическом цикле как твердых износостойких, так и твердосмазочных слоев без снижения исходного класса шероховатости поверхности, что позволит снизить коэффициент трения и повысить ресурс работы деталей двигателей.

Результаты проведенных исследований будут использованы при выборе оптимальной технологии и конструкции многослойного покрытия для рабочих поверхностей плунжеров и форсунок дизелей. Предварительные опытные испытания показали высокую эффективность многослойных вакуумных покрытий, способствующих увеличению долговечности элементов топливной системы дизелей.

## **ДИФфуЗИОННОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБМАЗОК**

*Боровицкая Т.В., Шумов О.В.*

*Полоцкий государственный университет*

Для повышения эксплуатационных свойств деталей машин широко используется поверхностное упрочнение. Одним из способов поверхностного упрочнения является химико-термическая обработка, в частности, диффузионное легирование поверхностного слоя детали. Диффузионное насыщение бором придает поверхности детали целый комплекс высоких эксплуатационных свойств – высокую твердость, стойкость к абразивному изнашиванию,

коррозионную стойкость. Вместе с тем, высокая твердость обуславливает и высокую хрупкость борированного слоя, что ограничивает использование борирования для поверхностного упрочнения деталей машин. Высока также стоимость порошковых насыщающих смесей, например, на основе карбида бора или аморфного бора.

С целью снижения хрупкости борированного слоя и уменьшения стоимости порошковых насыщающих смесей были разработаны многослойные обмазки для диффузионного борофосфорирования на основе буры, а также технология их нанесения и использования.

В результате использования разработанных обмазок было проведено борофосфорирование режущих кромок ножей фильерной головки. Толщина упрочненного слоя составила 60 - 80 мкм, микротвердость -- 10-12 ГПа. Хорошая спекаемость обмазки позволяет легко отделять различные слои обмазки и использовать их многократно.

## **ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СИНУСОШАРИКОВОГО РЕДУКТОРА**

*Макаревич Д.М., Лустенков М.Е.*

*Могилевский машиностроительный институт*

Синусошариковые передачи являются перспективным типом передач и способны найти широкое применение в промышленности. Созданные на их основе синусошариковые редукторы обладают рядом преимуществ по сравнению с зубчатыми передачами: более высокая нагрузочная способность при малых габаритах, технологичность изготовления деталей редуктора.

В связи с актуальностью вопроса по совершенствованию само- и принудительно блокирующихся дифференциалов транспортных средств, автор синусошариковой передачи Р.М. Игнатишев предложил использовать ее для этих целей, разработав принципиальную схему автотракторного принудительно блокируемого дифференциала.

Традиционно задача решалась применением двух узлов дифференциала и блокиратора (например, управляемой муфты сцепления). Синусные передачи позволяют упростить эти механизмы за счет совмещения в одном устройстве двух функций – и функции дифференциала, и функции блокиратора. Подобное устройство успешно может применяться в сельхозтехнике.

Синусошариковый редуктор любого типа состоит из четырех основных звеньев: внутренней втулки, наружной втулки, сепаратора и тел качения (шариков). Так как работа редуктора осуществляется в условиях интенсивного износа, встает вопрос выбора материалов для деталей редуктора и их оптимальной термообработки.

Выход из строя синусошарикового редуктора часто происходит из-за значительного износа прорезей сепаратора, что приводит к заклинке шариков. Анализ экспериментальных данных показывает, что наиболее целесообразным материалом для изготовления сепаратора является сталь 20ХНЗМА, 20ХН4МА или сталь ХВГ. Сепаратор, изготовленный из стали 20ХНЗМА, подвергается цементации на глубину 2–2,5 мм с твердостью поверхностного слоя 58–62 HRC.

Долговечность работы ведущих втулок существенно увеличивается, если применять для их изготовления те же стали, что и для сепаратора с термообработкой до твердости 60–65 HRC. Корпусные втулки преимущественно изготавливаются из стали 40Х, но при применении для этих целей стали 20ХН4МА с цементацией рабочих поверхностей и борированием на глубину 0,5–1,0 мм после приработки, износ беговых дорожек снижается в 3–4 раза. После цементации и закалки структура поверхностного слоя представляет собой мелкоигльчатый мартенсит с остаточным аустенитом. Повышенная износостойкость сталей, имеющих в структуре большое количество остаточного аустенита, объясняется тем, что под действием больших контактных нагрузок в микрообъемах деталей происходит превращение этого остаточного аустенита в износостойкий мартенсит.

Тела качения выпускаются серийно, из стали ШХ-15. Целесообразно применение шариков, изготовленных из кремнемолибденовых и нержавеющей сталей, так как из-за высоких удельных нагрузок в зоне контакта часто происходит раскалывание шариков, изготовленных из стали ШХ15.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

*Дубинский Н.А.*

*Витебский государственный технологический университет*

Наиболее важной характеристикой композиционных электрохимических материалов является распределение и содержание в них дисперсных частиц, а поэтому совершенствование таких материалов невозможно без изучения их структуры.

В работе исследовали композиционные электролитические материалы (КЭМ) с матрицей из электролитического железа и дисперсными включениями оксида алюминия. Образцы для исследований вырезали из КЭМ алмазным кругом в виде пластин размером 10х15х3, которые затем полировали и травили. Изучение макроструктуры проводили на металлографическом микроскопе МИМ-7. Обработка результатов измерений, так же как и в работе [1], проводилась одновременно с процессом измерения. С помощью изложено-

го способа были построены гистограммы  $n_1 = f'(l)$ ,  $n_2 = f'(d)$ ,  $n_3 = f'(\varphi)$  в направлениях, указанных выше (рис. 1, 2, 3). По гистограммам строились кривые распределения расстояний между дисперсными частицами  $n_1 = F_1(l)$ , кривые распределения длин хорд  $n_2 = F_2(d)$  и кривая распределения углов между дисперсными частицами  $n_3 = F_3(\varphi)$  (рис.1,2,3). Где  $l$  – расстояние между дисперсными частицами в КЭМ и  $d$  – диаметры дисперсных частиц, выраженные в целых значениях линейки;  $\varphi$  – угол между соседними частицами;  $n_1, n_2, n_3$  – количество частиц, расстояний и углов между ними определенного размера в КЭМ, соответственно. На основании этих замеров были построены гистограммы и статистические кривые распределения соответствующих величин.

Рис. 1. Распределение расстояний между частицами в КЭМ



Рис.2. Распределение диаметров частиц дисперсной фазы в КЭМ

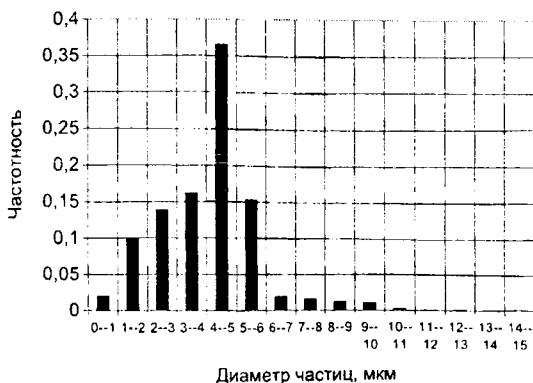
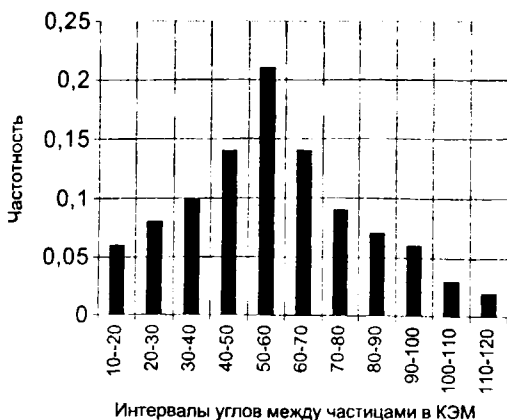


Рис. 3. Распределение углов между частицами дисперсной фазы в КЭМ



Ступенчатая кривая распределения расстояний между частицами не-симметрична относительно пика, поэтому в качестве функции распределения, имеющей  $\delta$ -образный характер и определенной при положительных значениях случайной переменной, вводится функция:

$$P(X) = AX^b \exp\left(-\frac{X^2}{2\sigma^2}\right) \operatorname{sh}\left(\frac{aX}{\sigma}\right), \text{ при } (0 \leq X < \infty),$$

где  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение;

$a, b$  – безразмерные параметры, устанавливаемые, как и  $\sigma$ , на основе обработки данных экспериментов;

$A$  – нормируемый множитель.

Для распределения расстояний между частицами дисперсной фазы в КЭМ функция распределения справедлива, в случае, если  $\sigma = 6,8$ ;  $A = 4,49$ ;  $a = 6,18$ ; и  $b = -1,52$ . Математическое ожидание  $\{X\} = 7,55$  мкм.

Распределение диаметров частиц и углов между частицами дисперсной фазы в КЭМ представляет собой симметричные относительно пиковых значений плотности вероятности кривые, поэтому для описания этих распределений берем теоретическое распределение в виде нормального закона:

$$p(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(X - \{X\})^2}{2\sigma^2}\right],$$

где переменная  $X$  характеризует величину диаметра дисперсной частицы или угла между прямыми, соединяющими центры смежных частиц. Параметры функции распределения: диаметров дисперсных частиц:

$\{X\} = 4,06$  мкм,  $s = 1,75$  мкм; углов между прямыми, соединяющими центры смежных частиц:  $\{X\} = 57,8^\circ$ ,  $\sigma = 24,05^\circ$ .

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что КЭМ статически изотропен, а структура распределения частиц в нем близка к гексагональной.

## ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Дубинский Н.А.*

*Витебский государственный технологический университет*

Известно, что гальванические покрытия имеют четко выраженную кристаллическую структуру. Процесс возникновения кристалла начинается с создания зародыша критической величины. Однако по мере увеличения размеров кристаллов происходит искажение их формы, так как даже при соблюдении самых тщательных предосторожностей кристалл всегда содержит значительное количество дислокаций – дефектов структуры, образующихся за счет сдвига одной группы атомов по отношению к другой.

Впервые создали комплексную теорию дислокаций в своих работах Орована, Тейлор, Бриллиантов, Обреимов, Бюргерс и др. Дальнейшее развитие этих представлений в работах Рида, Коттрела и других позволило построить достаточно стройную дислокационную теорию пластической деформации.

Процесс образования композиционных электрохимических материалов (КЭМ) можно описать следующим образом. При взаимодействии частиц и металла, в случае осаждения КЭМ в каждом элементарном объеме КЭМ протекают три последовательные стадии: образование физического контакта между частицей и матрицей; химическое взаимодействие материалов на границе раздела дисперсной фазы и матрицы; объемное развитие процесса взаимодействия, заключающееся в релаксации упругих сил.

На первой стадии происходит сближение соединяемых материалов на расстояние, соответствующее расстоянию между частицами при физическом взаимодействии, обусловленном силами Ван-дер-Ваальса, или на расстояние, при котором возникает слабое химическое взаимодействие. При этом сближение материалов происходит и за счет пластической деформации материала матрицы, которая происходит под действием кристаллизационного давления, достигающего нескольких мегапаскалей.

Далее наступает вторая стадия, в течение которой происходит образование активных центров на поверхности более твердого из соединяемых материалов (дисперсной фазы). Наличие этого периода и его длительность обуславливаются особенностью пластической деформации указанных материалов, а именно, присутствием для них инкубационным периодом.

С момента образования активных центров на контактных поверхностях наступает третья стадия, в течение которой происходит развитие взаимодействия соединяемых материалов, как в плоскости контакта, так и в объеме зоны контакта. Этот процесс протекает на активных центрах, представляющих собой в частном случае дислокации с полем напряжения. В плоскости контакта он заканчивается слиянием очагов взаимодействия. Последнее является необходимым условием для возникновения прочных химических связей между соединяемыми материалами на всей площади их контакта.

Длительность каждой из стадий зависит от физико-химических свойств соединяемых материалов и определяется параметрами гальванического процесса получения КЭМ.

Свойства КЭМ легко можно объяснить с точки зрения дислокационной теории. Как известно, металлы, содержащие дисперсные включения, частицы окислов, нитридов или карбидов, в несколько раз прочнее чистой металлической матрицы. Жидкости, содержащие коллоидные частицы, такие как краска, более вязкие, чем чистые жидкости. Одна из причин повышенного сопротивления таких материалов деформированию проста. При отсутствии частиц возможно ламинарное течение материала. Даже в металлическом кристалле скольжение протекает в одной группе плоскостей скольжения и его можно считать ламинарным. Присутствие частиц изменяет вид течения. Элементы материала должны перемещаться на большее расстояние. Частицы нарушают течение в кристалле. Поскольку они достаточно прочны, такое возмущенное движение вызывает более прочный наклеп. Детали этого процесса более сложные, чем простое рассеивание энергии на вязкое течение.

В противоположность жидкости хорошо отожженный кристалл имеет фиксированный предел текучести. Дисперсные частицы увеличивают напряжение течения, величина приращения которого зависит от многих факторов, в том числе и от прочности частиц. Менее прочные частицы стремятся деформироваться вместе с деформируемым кристаллом; достаточно прочные не деформируются. Как было указано Орованом, упрочнение, обусловленное прочными частицами, легко понять физически, и оно подвергается систематическому экспериментальному исследованию. Приращение предела текучести кристаллов, обусловленное увеличением напряжений течения, получило название "напряжение Орована".

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИЛУМИНА АК 7

*Липиньски Томаш*

*Университет Варминьско-Мазурски в Ольштыне, Польша*

Из значительной группы литейных сплавов цветных металлов наиболее широко используются сплавы на основе системы алюминий – кремний, так называемые силумины. Однако эти сплавы имеют существенный недостаток. После кристаллизации они имеют игольчато-зернистую структуру, которая является причиной снижения механических свойств [1]. Для того, чтобы эти свойства улучшить, можно для обработки жидкого металла использовать элементы и химические соединения, которые соответствующе подобраны в небольших количествах, не влияют существенно на химический состав сплава. Эти добавки дают структурные эффекты, которые основаны на измельчении зерна или на значительном сокращении межфазового расстояния в эвтектических зернах [2].

В работе была проведена попытка анализа влияния выбранных элементов и химических соединений в экзотермической смеси порошков на параметры кристаллизации и механические свойства доэвтектического силумина. Использовался сплав АК 7 (1000 г на одну плавку) и план факторов для  $k=5$  переменных, в качестве переменных факторов проводился многофакторный эксперимент с пятью переменными:

$$X_1 = Cr_2O_3 \in \langle 0; 1,8 \text{ г} \rangle$$

$$X_2 = Pb_3O_4 \in \langle 0; 1,2 \text{ г} \rangle$$

$$X_3 = NaNO_3 \in \langle 0,3; 1,5 \text{ г} \rangle$$

$$X_4 = Bi \in \langle 0; 0,6 \text{ г} \rangle$$

$$X_5 = ZrC \in \langle 0; 1,8 \text{ г} \rangle,$$

а в качестве восстановителей порошков оксидов хрома, свинца использовались порошки алюминия и магния. Формовку выполняли вручную, используя классическую схему. Спрессованную смесь укладывали в специальную полость литейной формы (INMOLD – процесс). Жидкий металл, проходя через основную литниковую систему, подавался в реакционную камеру, и начинался процесс реакции элементов в находящихся там брикетах. Постепенно растворяясь в сплаве, легирующие добавки улучшали его. В процессе кристаллизации регистрировали характерные температуры и определяли выбранные механические свойства (Rm, A5, HB,  $\rho$ ).

После обработки полученных результатов предложено математическое уравнение (1), которое описывает изменения двенадцати анализируемых параметров в зависимости от состава использованных экзотермических смесей для обработки сплавов:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j}^k b_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

Из параметров кристаллизации существенное влияние на механические свойства сплавов имеют: DL, DE – диапазон температур между началом кристаллизации соответственно для твердого раствора  $\alpha$  и эвтектики ( $\alpha + \text{Si}$ ), а также DLE – разность между температурами ликвидус и солидус [3]. Параметры эти можно принять как фактор, отражающий протекание процесса кристаллизации (в отношении к температурам).

При анализе принято, что влияние соответствующего компонента ( $x_i$ ,  $x_j$  – уравнение 1) в исследуемых пределах его содержания пропорционально значению коэффициента находящегося возле него в уравнении ( $b_i$ ,  $b_{ij}$  – уравнение 1). Для упрощения введен показатель влияния ( $x_{zi}$ ), действующий на исследуемый параметр через соответствующие составляющие (уравнение 2).

$$x_{zi} = \sum_{i,j=1}^k \left( \left| \frac{x_i}{b_0} \cdot 100 \right| + \left| \frac{x_i \cdot x_j}{b_0} \cdot 100 \right| \right) \quad (2)$$

Графическое изображение  $\sum x_{zi} = f(x_{zi})$ ,  $\bar{x}_{zi} = f(x_{zi})$ , а также DL; DE; DLE =  $f(x_{zi})$  на рисунках 1,2,3.



Рис. 1. Зависимость показателя влияния соответствующей составляющей на диапазон температур между началом кристаллизации для твердого раствора  $\alpha$  (DL) и эвтектики ( $\alpha + \text{Si}$ ) (DE), а также на разность между температурами ликвидус и солидус (DLE).

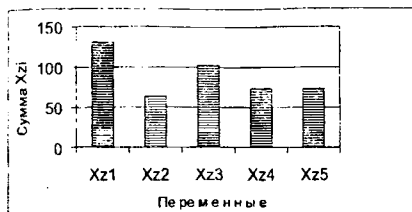


Рис. 2. Зависимость суммарного значения показателя влияния соответствующей составляющей ( $x_{zi}$ ) для выбранных компонентов ( $x_1 \dots x_5$ ) экзотермической смеси.



Рис. 3. Зависимость среднего значения показателя влияния соответствующей составляющей ( $x_{zi}$ ) для выбранных компонентов ( $x_1 \dots x_5$ ) экзотермической смеси.

### Резюме

Наиболее преобладающее влияние на протекание процесса кристаллизации сплава АК7 (DL, DE, DLE) наблюдалось для оксида хрома  $Cr_2O_3$  (рис. 1.). Остальные исследуемые переменные оказывали влияние в меньшей степени. Нитрат натрия  $NaNO_3$ , висмут Bi, карбид циркония ZrC изменяют только два из трех параметров (около DLE только DL или DE). Это говорит о том, что  $NaNO_3$  и ZrC существенно не воздействуют на  $\alpha$ -фазу, а Bi также на эвтектику. Сильное влияние на эвтектику имел  $NaNO_3$ , изменяя DE. На основании анализа суммарного влияния составляющих на все двенадцать анализируемых параметров можно отметить, что самое большое воздействие наблюдали для оксида хрома  $Cr_2O_3$  (рис. 2.). Наивысший эффект среднего влияния на все двенадцать анализируемых параметров имел нитрат натрия  $NaNO_3$  (рис. 3.).

### Литература

1. Wasilewski P.: Struktura i właściwości mechaniczne siluminu AK9 (AlSi9Mg). VI Konferencja Metale Niezależne w Przemysle Okretowym. Szczecin-Swinoujście 1993
2. Braszczynski J.: Teoria procesow odlewniczych. PWN, Warszawa 1989
3. Sakwa J.: Badania nad praktycznym zastosowaniem analizy termicznej do kontroli przebiegu procesu krystalizacji modyfikowanego stopu AlSi7Mg06. Eksp. nr 029-G-86

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ НАПЛАВКА ЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ

*Кожуро С.Л.*

*Белорусская государственная политехническая академия*

Для электромагнитной наплавки (ЭМН) возможно применять большую гамму порошковых материалов, что позволяет изменять в широких пределах механические, термические, электрические и другие свойства восстановленных рабочих поверхностей деталей. При этом требования к порошковым материалам вытекают из сущности и целей технологического процесса:

- материал порошка должен иметь хорошие магнитные свойства и высокую температуру плавления, обеспечивающие устойчивость процесса наплавки;
- обладать небольшим разбросом по грануляции для получения качественного покрытия;
- иметь хорошую текучесть для равномерной транспортировки в зону наплавки;
- обеспечивать достаточную плотность покрытия, равномерность структуры, металлическое соединение с основой и не давать трещин при формообразовании;
- формировать покрытия с требуемыми физико-механическими свойствами.

Необходимо отметить, что для удовлетворения повышенной износостойкости покрытий материал порошка должен обеспечивать образование закалочной структуры высокой твердости. Одним из таких образований в состоянии закалки является мартенсит, который, однако, склонен к образованию трещин в покрытии и к нарушению адгезии в условиях ударно-динамической нагрузки. Дополнительное упрочнение структуры может быть обеспечено получением твердых дисперсных фаз, что предполагает достаточно высокую концентрацию определенных легирующих элементов. Высокими магнитными свойствами обладают чистое железо, а также кобальт и его сплавы, использование которых затруднено из-за их высокой стоимости. Кроме того, в чистом виде эти материалы не обеспечивают высоких эксплуатационных свойств. Оптимальным решением при выборе материала порошков для ЭМН должно явиться компромиссное сочетание указанных требований. Следовательно, для выбора материалов с наиболее благоприятным сочетанием вышеуказанных свойств должны рассматриваться порошковые материалы на основе железа, упрочненные твердыми фазами карбидного или интерметаллидного типа.

Удовлетворительная текучесть такого порошка обеспечивается округлой и гладкой поверхностью частиц, на которые влияют химический состав,

вязкость материала в состоянии расплава, способ его получения. Исходя из особенностей технологии нанесения покрытия, размер частиц порошков должен находиться в пределах 200–380 мкм, что обеспечивается рассевом порошка.

В качестве материалов, перспективных для осуществления ЭМН, могут быть рекомендованы: сталь 45, упрочненная бором; двухкомпонентные легированные сплавы на основе железа; быстрорежущие сплавы; высокоуглеродистые эвтектические сплавы.

В зависимости от химического состава материала порошка и режима наплавки ЭМН позволяет получать покрытия толщиной 0,4–0,6 мм, твердостью в пределах 50–64 HRC, пористостью 6–12 % и шероховатостью поверхности  $Ra=32-25$  мкм.

Покрытия из порошков быстрорежущей стали Р6М5Ф3 (гетерогенный сплав из твердого раствора и слоистых карбидов), сплава Fe-10%V (представитель материалов со структурой твердого раствора), сплава С-300 (эвтектический высокоуглеродистый сплав с гетерогенной структурой на основе твердого раствора и эвтектических карбидов, имеющих относительно низкую температуру плавления) имеют износостойкость в 2–2,5 раза выше износостойкости закаленной стали 45.

Для различных по химическому составу порошков наиболее эффективны следующие режимы ЭМН: сила разрядного тока  $I=110-125$  А; магнитная индукция в рабочей зоне  $B=0,8...1$  Тл; размер зерен порошка 200–400 мкм; рабочий зазор  $\delta=1,2-2,4$  мм; относительная скорость вращения заготовки  $V=0,08-0,10$  м/с; подача заготовки  $S=0,20-0,35$  мм/об.

Электромагнитную наплавку эффективно применять для восстановления и упрочнения деталей типа тел вращения (валы, оси, штоки и др.), имеющие износ до 0,5 мм.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т98-181).

## **НОВЫЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗИНОВЫХ УПЛОТНИТЕЛЕЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*Седярова С.Н.*

*Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины*

Резиновые уплотнители, эксплуатируемые при повышенных температурах в углеводородных средах, как правило, имеют невысокий срок службы из-за экстракции ингредиентов резины и преждевременного разрушения ее поверхностного слоя. Защитную стойкость уплотнителей можно в значительной мере улучшить путем модификации свойств из-

делий, для чего могут быть использованы самые различные методы и технологии.

Один из путей повышения защитной стойкости резин заключается в регулировании плотности пространственной сетки вулканизата. Известно, что степень равновесного набухания, а также уровень экстракции целевых добавок (пластификаторы, стабилизаторы и др.), как правило, снижаются с ростом густоты сетки. Вместе с тем, при глубокой сшивке резины многие ее служебные свойства (деформационность, стабильность контактных напряжений, герметичность уплотнения и др.) становятся неудовлетворительными. Интерес представляет компромиссный вариант решения проблемы, при котором повышенная густота вулканизационной структуры создается только в поверхностном слое. В результате должны уменьшиться набухание уплотнителей и вымывание из них целевых добавок, при этом объемные физико-механические свойства изделий ухудшаются незначительно. Встает вопрос о практической реализации такого подхода при получении изделий, предназначенных для использования в качестве уплотнителей.

Разработаны новые методы формирования резиновых уплотнителей, в которых дополнительная сшивка резиновой смеси в поверхностном слое осуществляется либо непосредственно на стадии вулканизации изделий, либо после завершения вулканизационного процесса.

Первый подход реализуется за счет использования смазки для пресс-форм, в которую дополнительно введен сшивающий агент (сера, пероксид дикумила и другие вещества). Смазка наносится на поверхность формы перед помещением в нее сырой резины. В ходе вулканизации изделий сшивающий агент, содержащийся в смазке, создает дополнительную сшивку поверхностного слоя резины. Это проявляется в увеличении твердости изделий на 7–10% и снижении их набухания в дизельном топливе на 20–25%. При использовании данного метода получения уплотнителей технологические параметры процесса вулканизации резины не изменяются, а эффективность сшивания поверхностного слоя определяется, в основном, концентрацией сшивающего агента в смазке. Для ряда сшивающих агентов подобраны смазочные составы и определены оптимальные концентрации этих веществ в смазке. Наряду со сшивающими веществами в смазку могут вводиться другие ингредиенты резины для насыщения ими поверхностного слоя изделий.

Второй подход в создании дополнительной сшивки поверхностного слоя резины реализуется на вулканизованных изделиях. В данном случае на поверхность образцов после их вулканизации наносят слой сшивающего агента, а затем путем кратковременной термообработки изделия осуществляют довулканизацию резины. Сшивающий агент наносится из раствора (суспензии) при

погружении в него изделия. После высушивания растворителя образец подвергают термообработке на воздухе. Исследования показали, что данный способ позволяет получать уплотнители с повышенной густотой вулканизационной сетки в поверхностном слое и, как следствие, с более высокой защитной стойкостью изделий в углеводородных средах. Проведена оптимизация технологических режимов осуществления способа по следующим параметрам: концентрация сшивающего агента в растворителе, температура и продолжительность выдержки образца в растворе (суспензии) и обработки его на воздухе.

Модификацию вулканизованных изделий путем дополнительного сшивания поверхностного слоя можно совместить с введением в этот слой веществ, подавляющих окислительное старение резин – антиоксидантов. Эти вещества обеспечивают защиту уплотнителей не только на стадии сшивания резины, но и при эксплуатации изделий в условиях действия повышенных температур. Процессы нанесения антиоксиданта и вулканизующего агента на поверхность изделий можно объединить в одном технологическом цикле, но при этом диффузионное насыщение антиоксидантом поверхностного слоя уплотнителя обязательно должно предшествовать сшивке этого слоя. Если сшивку резины провести раньше, то увеличившаяся плотность вулканизационной сетки ограничит диффузионное поступление антиоксиданта в резину, и такой способ модификации окажется неэффективным.

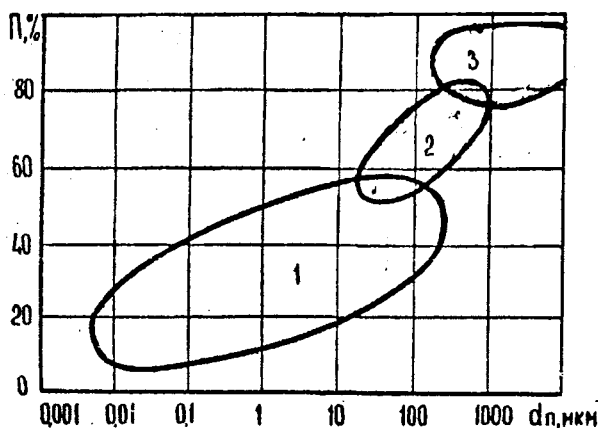
Разработан способ модификации вулканизованных изделий, по которому сшивающий агент и антиоксидант наносят на поверхность изделий, используя для этого либо отдельные растворы модификаторов, либо единый раствор смеси модификаторов. Затем проводят двухстадийную термообработку. На первой стадии термообработку ведут при температуре более низкой, чем оптимальная температура вулканизации. В результате, основная масса антиоксиданта диффузионно насыщает поверхностный слой изделия, а дополнительная сшивка резины практически не происходит. Вторую стадию термообработки проводят при более высокой температуре – температуре, оптимальной для довулканизации резины сшивающим агентом. В результате образуется более густая вулканизационная сетка, препятствующая вымыванию антиоксиданта при эксплуатации уплотнителей в углеводородных средах.

Разработанные способы формирования резиновых уплотнителей прошли лабораторные испытания, и в настоящее время разрабатывается технологический регламент формирования изделий в условиях производства.

## ПОРИСТЫЕ ПРОНИЦАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

*Кусин Р.А., Капцевич В.М., Корнеева В.К. НИИ ПМ с ОП, БАТУ*

Пористые проницаемые материалы на металлической основе, получаемые методом порошковой металлургии, можно разделить на три группы: порошковые, волокновые и ячеистые, каждая из которых характеризуется своими диапазонами изменения пористости и размеров пор (рис. 1) и областями применения. Наиболее широкое распространение на практике получили пористые проницаемые материалы из порошков (в дальнейшем ППМ), которые состоят из твердых частиц, находящихся во взаимном контакте и образующих систему непрерывных каналов между частицами. Эти каналы (поры) обеспечивают такие свойства ППМ, как проницаемость для газов или жидкостей, способность к капиллярному транспорту жидкостей под действием капиллярных сил и фильтрующую способность.



*Рис. 1. Диапазон измерения пористости и размеров пор пористых материалов на металлической основе: 1 – порошковые материалы; 2 – волокновые; 3 – ячеистые.*

ППМ обладают рядом достоинств по сравнению с бумажными, стеклянными, керамическими, тканевыми и другими проницаемыми материалами. Они более прочны и устойчивы против коррозии, могут работать в широком диапазоне температур, подвергаются механической обработке и сварке, обла-

дают высокой тепло- и электропроводностью, допускают многократную регенерацию.

Все ППМ по характеру применения можно разделить на три группы: фильтрующие, капиллярно-пористые и материалы со специальными свойствами [1–3].

Процесс эксплуатации фильтрующих ППМ характеризуется наличием избыточного давления, прикладываемого к газу или жидкости, в результате чего последние проходят по поровым каналам, очищаются, гомогенизируются, разделяются, смешиваются, распределяются (фильтры, смесители, глушители шума, аэраторы, огнепреградители и т.д.).

Процесс эксплуатации капиллярно-пористых ППМ характеризуется наличием капиллярного давления, возникающего на границе сред жидкость-газ-твердое тело, в результате чего жидкость перемещается по поровым каналам или удерживается в них (испарители, конденсаторы, капиллярные структуры тепловых труб, капиллярные насосы и т.д.).

К ППМ со специальными свойствами отнесены материалы, процесс эксплуатации которых связан с взаимодействием поверхности пор с фазой, заранее введенной или пропускаемой по поровым каналам, что интенсифицирует физические или химические процессы взаимодействия этих фаз (пористые аноды, пластины аккумуляторных батарей, заменители костной ткани и т.д.).

Предметом рассмотрения данной работы является первая группа – группа фильтрующих материалов (ФМ), которые условно можно разделить на фильтры и распределители газовых или жидкостных потоков.

Основным назначением фильтров является очистка жидкостей или газов от посторонних примесей. Отличительной их особенностью является осуществление фазоразделения в результате процесса фильтрования. Применение таких ФМ позволяет повысить качество выпускаемой продукции, надежность и долговечность пневмо- и гидросистем различного назначения, обеспечить защиту окружающей среды и т.д. Фильтры используются для очистки воды, щелочных, кислотных и солевых растворов, горючесмазочных материалов, молока, смол, основ для лаков, расплавов солей и полимеров, фильтрации сжиженных и сжатых газов при их производстве и практическом применении, отходящих газов в технологических циклах химического, металлургического, цементного и других производств. В ряде случаев ФМ позволяют улавливать дорогостоящие пылевидные катализаторы, используемые в технологических процессах химического и нефтехимического производства, что позволяет значительно удешевлять процесс.

Распределители потоков, представляющие вторую группу ФМ, используются при пневмотранспорте сыпучих сред, аэрации жидкостей для их перемешивания или насыщения газами, в качестве элементов пористого охлажде-

ния или нагрева, газораспределительных решеток для создания кипящего или псевдооживленного слоя, аэростатических или гидростатических подшипников, в которых отсутствует соприкосновение трущихся поверхностей, огнепреградителей для локализации распространения пламени, активных глушителей шума, катализаторов и т.д. Как правило, в процессе эксплуатации таких ФМ не ставится задача разделения фаз.

Выбор химического состава ФМ как для фильтров, так и для распределителей потоков определяется требуемой коррозионной стойкостью. Наиболее часто на практике для изготовления ФМ используются порошки оловянно-фосфористой бронзы марки БрОФ 10-1, железа, коррозионно стойкой стали, никеля, титана.

ФМ из бронзы могут выдерживать нагрев на воздухе до 200°C и до 400°C в неокислительной среде. Они коррозионностойки на воздухе, в морской воде и растворах КОН. ФМ из порошков железа коррозионностойки в масле, керосине, бензине, дизельном топливе. Алитированные ФМ имеют высокую окислительную стойкость и коррозионностойкость на воздухе и в морской воде. Хромированные ФМ стойки при нагреве до 750°C.

ФМ из порошков коррозионностойких сталей обладают высокой коррозионной стойкостью в кислотах, щелочах и агрессивных средах. Они выдерживают нагрев на воздухе до 500°C, а некоторые и до более высокой температуры. Так, ФМ из восстановленных порошков коррозионностойких сталей ПХ17Н2, ПХ30, ПХ18Н15, ПХ18Н9, ПХ23Н18 обладают стойкостью в азотной кислоте, щелочах, в окислительных газах при температуре до 800°C. В таблице приведен срок службы ФМ из порошков коррозионностойких сталей в некоторых растворах кислот и щелочей [4].

*Таблица*

*Срок службы ППМ из порошков коррозионностойкой стали в растворах кислот и щелочей.*

Среда	Концентрация, %	Срок службы
HNO <sub>3</sub>	68	20 лет
HNO <sub>3</sub>	10	30 лет
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	96	30 лет
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10	3 недели
HCL	37	5 часов
HCL	1	4 недели
NaOH	40	10 лет
HPO <sub>3</sub>	85	20 лет
HPO <sub>3</sub>	10	40 недель

Сплавы хрома с 30–40% никеля выдерживают нагрев на воздухе до 1200°C, обладают высокой коррозионной стойкостью в соляной кислоте и галогеносодержащих средах. Никельмолибденовые сплавы (Ni-15Cr-15Mo) обладают коррозионной стойкостью одновременно в соляной и азотной кислотах. Монель-металл стоек в среде галогенидов, а нихром – на воздухе при температуре до 800°C.

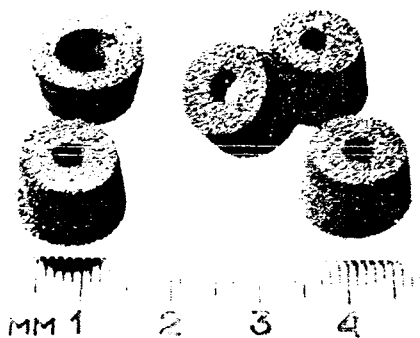
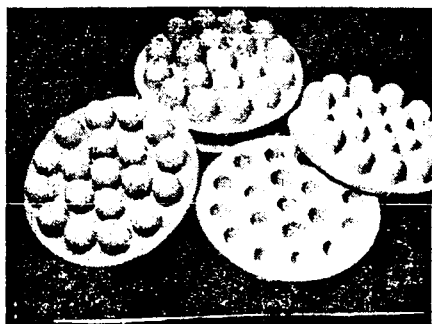
ФМ из титана имеют преимущества перед материалами из бронзы, коррозионностойких сталей и никеля. Титан коррозионностоек в присутствии хлора (хлоридов, солей хлористой кислоты), морской, соленой воды, азотной кислоты, органических кислот. Имеются данные о стойкости пористого титана в следующих средах: полная устойчивость в 30%-ном растворе едкого натра, удовлетворительная устойчивость в 25%-ном растворе хлористого алюминия при температуре раствора до 100°C, стойкость ФМ из титана, содержащих 0,2–2% палладия в 20%-ном растворе соляной и 40%-ном растворе серной кислоты при комнатной температуре. Лучшей коррозионной стойкостью в горячих растворах серной и соляной кислот (концентрация 40 и 20% соответственно) обладают сплавы, содержащие 30–35% Mo. Порошковый сплав Ti20Mo5Cr0,2Pd имеет высокую стойкость в горячих и концентрированных растворах соляной и азотной кислот [5].

НИИ порошковой металлургии с опытным производством (НИИ ПМ с ОП) и Белорусский аграрный технический университет проводят совместные работы по разработке, изготовлению, внедрению и поиску новых областей применения ППМ. В настоящее время на опытном производстве НИИ ПМ с ОП могут изготавливаться листы 1400 x 350 мм и трубы на их основе диаметром до 500 мм и длиной до 1000 мм и более, диски диаметром от 52 мм до 305 мм и "чечевицы" на их основе, изделия в виде стаканов, таблеток, пробок и более сложной формы по согласованным чертежам. Из порошков коррозионностойких сталей, никеля и титана изготавливаются диски диаметром до 200 мм, трубы диаметром до 80 мм и длиной до 500 мм, а также втулки и стаканчики диаметром до 80 мм.

Изготовленные в НИИ ПМ с ОП изделия внедрены в качестве фильтров для очистки воздуха и агрессивных газов – на Борисовском заводе медпрепаратов, Обольском заводе кормовых добавок, Винницком заводе тракторных агрегатов, Полоцком ПО "Стекловолокно", Гродненском ПО "Химволокно", Симферопольском ПО "Пневматика", Черкесском заводе пневмоаппаратуры, Смоленском заводе "Измеритель" и Минском ПО "Интеграл"; очистки промышленных масел – на Могилевском ПО "Стромавтолиния", Госпредприятии "Белтрансгаз" (г. Минск), СКТЬ "Сектор" (г. Калуга), заводе "Альмагор", ПО "Горизонт" (г. Минск), заводе запальных свечей (г. Энгельс) и Витебском телезаводе; фильтрации и гомогенизации расплавов полимеров (по-

лиэтилентерефталат, полипропилен, капролактам) – на Могилевском ПО "Химволокно", Казанском ПО "Тасма", ИПО "Полимер" (г. Орджоникидзе), Владимирском ПО "Химволокно", Киевском заводе "Большевик", Энгельском ПО "Химволокно" и АО "Пинема" (г. Пинск); очистки воды – на Юргинском машиностроительном заводе; а в качестве распределителей потоков для глушения шума – на заводе "Могилевлифтмаш" (г. Могилев), заводе "Калибр" (г. Минск), объединении "Промшвеймаш" (г. Орша), Заднепровском экспериментальном заводе по производству спецкомбикормов и регенерированного молока (г. Орша), АО Мичуринский завод "Прогресс", Черкесском заводе пневмоаппаратуры, Симферопольском ПО "Пневматика" и Оршанском инструментальном заводе; охлаждения синтетических нитей – на Пинском АО "Пинема" и Могилевском ПО "Химволокно"; насыщения жидкости воздухом и озоносодержащей смесью – на Обольском заводе кормовых добавок и в совхозе "Несвижский"; пневмотранспорта цемента – в компании "Akmenes cementas" (Литва); огнепреграждения – в НИИ сварки и покрытий (г. Минск) и на заводе "Оргтехника" (г. Лермонтов).

Фотографии некоторых из внедренных изделий приведены на рис. 2.





*Рис.2. Фотографии некоторых из внедренных изделий из ППМ: а – пористые вставки для фильтрации и гомогенизации прядильных расплавов; б – фильтроэлементы для очистки дизельного топлива; в – глушители шума для пневмораспределителей.*

Фильтрующие материалы в процессе эксплуатации загрязняются оседающими в порах частицами, что с течением времени приводит к уменьшению их фильтрующей способности. Существуют различные способы регенерации фильтров:

- пропуская газ или жидкость в направлении, противоположном фильтрации (механическая очистка);
- применением химических растворителей;
- прокаливанием ФМ.

Кроме перечисленных выше, используются и другие способы регенерации, например, снятием осадка с фильтрующего элемента скребком, импульсной обдувкой, обработкой ультразвуком и т.д. Из этих способов наиболее эффективным является обработка ультразвуком.

Выбор способа регенерации определяется условиями работы фильтра, а также химической природы материала ФМ и осадка.

При регенерации фильтра обратной продувкой (промывкой) рабочая среда (газ или жидкость) пропускается в направлении, противоположном фильтрации. Очистка производится при давлении, на 0,05-0,1 МПа большем давления фильтрации. В непрерывном технологическом процессе обычно устанавливаются параллельно два фильтра, один из которых работает, а другой подвергается регенерации. Наиболее эффективно метод используется в соче-

тании с дополнительными способами очистки фильтров (вибрацией, промывкой в растворителях, ультразвуковой очисткой и т.д.).

Регенерация химическими растворителями заключается в растворении частиц, застрявших в порах ФМ, и производится в том случае, если обратная продувка малоэффективна. В качестве растворителей можно использовать кислоты, щелочи, ацетон, бензин, спирт и др. При этом растворитель не должен взаимодействовать с материалом фильтра. Например, фильтры из коррозионностойкой стали регенерируют азотной кислотой (большая часть осадков из частиц металла растворяется). Аналогично регенерируются фильтры, забитые органическими примесями. Для удаления труднорастворимых частиц химическую регенерацию сочетают с дополнительной обработкой, например, ультразвуком.

Главными недостатками регенерации химическими растворителями являются необходимость демонтажа фильтра, длительность процесса растворения примесей, непосредственный контакт материала фильтра с агрессивными жидкостями. Поэтому его применение возможно лишь для коррозионностойких ФМ.

Термическая очистка фильтров применяется относительно редко, что связано с необходимостью демонтажа фильтрующих устройств, применения специального термического оборудования и защитной среды, трудностью последующего удаления продуктов реакции термического разложения. Так, для очистки фильтра, изготовленного из порошка бронзы марки БрОФ-10-1 [6], поры которого заполнены застывшей полиэфирной смолой, его предварительно нагревают на воздухе до 600–850°С и выдерживают при этой температуре до полного сгорания полимера, а затем помещают в среду диссоциированного аммиака и выдерживают при той же температуре до полной очистки.

Качество регенерации фильтрующих элементов можно оценивать по изменению ряда эксплуатационных показателей элемента: по приращению его массы, увеличению его начального гидравлического сопротивления, уменьшению ресурса работы до снижения скорости фильтрования на заданную величину или до достижения максимально допустимого перепада давлений и т.д. В условиях фильтрования при постоянном давлении лучше всего оценивать регенерацию по изменению пропускной способности аппарата во времени, а в условиях фильтрования при постоянной скорости – по изменению перепада давлений во времени. Эти показатели позволяют учитывать не только начальные послерегенерационные изменения фильтрующих свойств, связанные с остаточным загрязнением фильтрующей перегородки, но и интенсивность ее закупоривания после регенерации [7].

Полученный опыт эксплуатации изделий из ФМ показывает, что, несмотря на высокую стоимость, они могут успешно использоваться и конкурировать

вать с другими, более дешевыми материалами за счет высокой надежности в работе и способности выдерживать многократные регенерации. В тех же случаях, когда в процессе эксплуатации необходимо реализовать свойства материала основы ФМ, ППМ из металлических порошков являются незаменимыми.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Витязь П.А., Капцевич В.М., Шелег В.К. Пористые порошковые материалы и изделия из них. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 161 с.
2. Пористые проницаемые материалы: Справочник / Под ред. С.В. Белова; С.В. Белов, П.А. Витязь, В.К. Шелег, В.М. Капцевич и др. – М.: Металлургия, 1987. – 333 с.
3. Витязь П.А., Капцевич В.М., Косторнов А.Г. и др. Формирование структуры и свойств пористых порошковых материалов. – М.: Металлургия. 1993. – 240 с.
4. Андриевский Р.А. Пористые металлокерамические материалы. – М.: Металлургия, 1964. – 188 с.
5. Витязь П.А., Капцевич В.М., Кусин Р.А. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления. – Минск: НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.
6. А.с. 668695 СССР, МКИЗВ01Д41/00. Способ регенерации металлических пористых фильтров от полимерных загрязнений.
7. Коваленко В.П., Ильинский А.А. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений. – М.: Химия, 1982. – 272 с.

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ**

*Ракомсин А.П., Митрофанова А.Б., Хейфец М.Л.  
ГП "МАЗ", Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Полоцкий государственный университет*

В настоящее время очень актуальна проблема повышения эксплуатационных свойств (износостойкости и усталостной прочности и др.) деталей автомобилей. Она требует создания новых технологических процессов и применения материалов, обеспечивающих их эксплуатацию до списания без замены и с минимальным количеством текущих ремонтов.

Известно, что износостойкость и усталостная прочность деталей являются основными эксплуатационными свойствами, повышение которых обеспечивается нанесением покрытий различными технологическими методами. Одним из перспективных способов упрочнения и восстановления деталей является электромагнитная наплавка (ЭМН),

а также ее совмещение с поверхностным пластическим деформированием (ППД).

Проведенные исследования структуры, фазового состава и физико-механических свойств покрытий, полученных ЭМН, показывают, что они имеют высокую прочность, однородность и состоят из фаз с особыми свойствами. В связи с этим основные эксплуатационные характеристики покрытий должны удовлетворять условиям работы ответственных деталей при циклических нагрузениях в условиях интенсивного изнашивания (шкворень поворотного кулака, палец ушка рессор, ось сателлита колесной передачи и др.).

Изучалось влияние на износостойкость и усталостную прочность наплавленных поверхностей основных технологических факторов ЭМН и химического состава наплавленного порошка. Исследования показали, что наибольшей износостойкостью обладают покрытия на основе порошков быстрорежущих сталей, высокохромистого чугуна и ферробора, которые превышают износостойкость закаленной стали 45 в 1,5–2,0 раза. Использование ППД повышает износостойкость покрытий в 1,8–2,7 раза, снижает коэффициент трения на 10–20% как при работе со смазкой, так и всухую.

При циклическом нагружении детали покрытия имеют различную способность к сопротивлению усталостному разрушению. Это объясняется неодинаковой чувствительностью материалов покрытия к дислокационному скольжению. ЭМН порошков высокохромистого чугуна и ферробора на детали из стали 45 вызывает снижение сопротивления усталости последней на 8 и 12% соответственно, а порошка быстрорежущей стали – увеличение на 10%. Установлено, что усталостная прочность деталей после ЭМН с ППД порошками быстрорежущей стали, высокохромистого чугуна и ферробора выше неупрочненных соответственно в 1,4; 1,3 и 1,2 раза. Обусловлено это тем, что в ходе наплавки с ППД в системе покрытие-основа формируются остаточные напряжения сжатия, увеличивается зона термического влияния, что приводит к распаду остаточного аустенита и превращения его в мартенсит с образованием при деформации дисперсных карбидов, блокирующих сдвиги по плоскостям скольжения.

Установлено, что методы финишной обработки влияют на износостойкость и усталостную прочность упрочненных деталей. Наилучшие результаты обеспечивает магнитно-абразивная обработка, повышающая износостойкость на 15% по сравнению с чистовым шлифованием и на 10% по сравнению с полированием.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Т98-181.

## ПРЕССОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ПОРОШКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Годубев А.Н.*

*Витебский государственный технологический университет*

Применение порошковой металлургии наиболее оправдано в следующих случаях: а) свойства материала изделия таковы, что заготовка не может быть получена другим способом (твердосплавные изделия); б) заданы специальные свойства, которые выгоднее всего получить методами порошковой металлургии (переменная по сечению пористость, композиционные, слоистые изделия и пр.). На практике часто встречается ситуация, когда необходимо получить мелкую партию или единичный экземпляр такого изделия (ремонт, экспериментальное производство). Для этого требуется изготовить дорогостоящую формообразующую оснастку, что сильно повышает себестоимость изделия. Этим объясняется применение порошковой металлургии главным образом в массовом производстве. Конечная цель данных исследований – разработка технологии получения сложных порошковых изделий применительно к условиям единичного производства.

По результатам литературного обзора можно выделить три основных критерия классификации существующих способов прессования.

1. Динамика процесса: прерывистое и непрерывное прессование. В первом случае (прессование в пресс-формах) процесс циклический и включает загрузку порошка, прессование и извлечение изделия. Во втором случае (мундштучное прессование, экструзия) перечисленные выше этапы явно не выражены и совмещены по времени.

2. Вид формообразующего инструмента: жесткий и нежесткий. Под жестким инструментом подразумеваются стальные и твердосплавные пресс-формы. К нежесткому инструменту относят формообразующие оболочки из упругих или пластичных материалов.

3. Наличие и вид передающей давление среды: с отсутствием таковой (прессование в пресс-формах); с жидкой или газообразной средой (ХИП, ГИП); с упругой, пластичной или сыпучей средой (прессование в толстостенных оболочках, квазиизостатическое прессование).

В соответствии с этими критериями способы, с помощью которых могут быть получены сложные порошковые изделия, были разделены на пять групп. Проведен сравнительный анализ достоинств и недостатков каждой группы способов по признакам: сложность применяемого оборудования; возможность получения сложной формы; качество изделий; производительность процесса прессования. При этом было установлено, что для условий единичного производства лучше всего подходят способы прерывистого прессования

с применением пластичных передающих сред (квазиизостатическое прессование). Это связано со следующими особенностями: профилирование формообразующего инструмента из пластичных материалов оказывается наиболее дешевым и выгодным; значительное, по сравнению с изостатическим прессованием, упрощение технологической оснастки (нет сосудов высокого давления, универсальное прессовое оборудование); гибкость перехода на другие размер и номенклатуру изделий; близкое к равномерному распределение плотности по сечению прессовки; удовлетворительная точность и производительность. По результатам патентного обзора способов квазиизостатического прессования найден ряд технических решений, повышающих технологичность базового способа и улучшающих качество изделий. При этом:

- оптимизированы составы передающих давление сред;
- усовершенствованы способы извлечения модели сложной формы из формообразующей полости;
- предложена более технологичная схема получения формообразующей полости для винтовых изделий;
- предложены способы ликвидации расслоенных трещин при изготовлении длинномерных изделий.

Проведен анализ существующих способов размерного расчета прессовок. Способы относятся к прессованию в пресс-формах, изостатическому прессованию и фактически сводятся к опытному подбору размеров, что приемлемо только для массового и крупносерийного производства. Для применения в единичном производстве разработана методика размерного расчета, позволяющая от требуемых размеров прессовки перейти к размерам пластичной формообразующей полости, необходимой для получения этой прессовки. Получен ряд экспериментальных данных, необходимых для практической реализации методики.

Результатом проведенных исследований явилась разработка квазиизостатической технологии изготовления порошковых изделий сложной формы и универсальной техоснастки для ее осуществления. Применение разработанной технологии дает возможность быстро и выгодно получать единичные порошковые изделия любой группы сложности.

## ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ МАСЕЛ

*Калиновский В.Р., Кусин Р.А., Дечко Н.А.*

*БАТУ, НИИ ПМ с ОП*

Масла и технические жидкости обычно имеют более высокий уровень загрязненности, чем топливо. Это объясняется их большей вязкостью.

По агрегатному состоянию загрязнения масел подразделяются на твердые, жидкие и газообразные. К твердым загрязнениям относят продукты из-

носа, коррозии металлов, уплотнения нестабильных углеводородов, атмосферная, дорожная и иные виды пыли, соли; к жидким – вода, смолы и поверхностно-активные вещества; к газообразным – воздух и различные газы.

По признаку образования или проникновения в масло загрязнения делят на три группы: производственные, операционные и эксплуатационные. Первые образуются при производстве масла; вторые – при транспортировании, хранении и заправке; третьи – непосредственно при эксплуатации.

Автомобильные и дизельные масла, применяемые в смазочных системах двигателей внутреннего сгорания, на нефтебазы и нефтесклады поступают в железнодорожных цистернах с содержанием загрязнений 0,01% или в автомобильных – с содержанием 0,1%. В процессе хранения загрязненность масел увеличивается и в резервуарах составляет 0,014–1,37%, а в бочках – 0,115–0,124%. Из раздаточных кранов средств заправки в сельскохозяйственные машины масла заливают с загрязненностью 0,103%. Размер частиц достигает 50 мкм и более, при этом число частиц всех размеров около 2 млн. в 1 мл. Зольная часть содержит в значительном количестве соединения алюминия и кремния, что свидетельствует о загрязнении масел в большей степени атмосферной пылью.

Кроме того, моторные масла содержат эмульсионную воду, что является результатом перехода растворенной воды в свободную и постепенного ее накопления в средствах хранения и транспортирования.

При эксплуатации смазочные материалы изменяют свои свойства в результате: загрязнения механическими примесями, водой, продуктами окисления и продуктами термического разложения углеводородов. Для моторных масел характерно загрязнение продуктами износа деталей и пылью, попадающей с засасываемым воздухом, а часто и с топливом. Больше всего воды попадает в моторное масло из камеры сгорания с прорывающимися газами, т.к. при сгорании 1 кг топлива образуется 1,2–1,4 кг водяных паров.

Для предотвращения загрязнения, повышения чистоты, уменьшения потерь и расхода смазочных материалов необходимо знать уровень загрязненности, состав, причины и источники образования загрязнений, что позволит уменьшить потери масла и экономичнее его расходовать.

## **ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

*Капцевич В.М., Калиновский В.Р., Крутов А.В., Дечко Н.А.  
Белорусский государственный аграрный технический университет*

Решение вопроса восстановления качества нефтепродуктов имеет важное народнохозяйственное значение. Несмотря на глубокие изменения каче-

ства при работе масла в различных машинах и механизмах, его основной углеводородистый состав меняется незначительно. Если из масла удалить все механические примеси и продукты окисления, общее количество которых обычно не превышает 4–6%, то вновь можно получить базовое масло хорошего качества. Поэтому сбор и очистка моторных масел является резервом для обеспечения растущих потребностей в них. Кроме того повторное использование масел служит сохранению окружающей среды.

Существенным недостатком имеющихся систем сбора отработанных масел и их последующей переработки на специализированных заводах являются низкое качество исходного сырья, значительные транспортные расходы, применение дорогостоящих материалов. Возможность очистки масел на местах повышает заинтересованность в их сборе.

В настоящее время назрела проблема разработки и внедрения малогабаритной установки для очистки отработанных масел в сельском хозяйстве физическими методами с применением фильтроэлементов из нетрадиционных материалов.

Из анализа современных методов и технических средств для очистки отработанных масел следует, что наиболее распространенными и легкодоступными являются такие физические способы очистки, как отстаивание, центрифугирование и фильтрация.

Для тонкой очистки масел применяется фильтрация. Из-за возросшей стоимости и дефицита традиционных фильтрующих материалов, например, бумаги и керамики, необходимости специальных мер по их утилизации после использования, создание и применение регенерируемых фильтроэлементов из других материалов является прогрессивным направлением. Одним из перспективных для технических целей являются фильтры, полученные методами порошковой металлургии. Они более прочны, могут работать в широком диапазоне температур, легко подвергаются механической обработке, обладают высокими фильтрующими характеристиками и другими качествами.

Исходя из условий эксплуатации фильтров для очистки масел, при получении порошкового спеченного фильтра, нами использован порошок нержавеющей стали X18H9T. Эта нержавеющая сталь аустенитного класса обладает парамагнитными свойствами и коррозионной стойкостью в окислительных средах.

Фильтроэлементам, изготовленным из высокопористых спекаемых металлов, присущи следующие преимущества:

- постоянство формы;
- хорошие вибропрочность и прочность на изгиб;
- хорошая ударная прочность по сравнению с керамическими фильтрами, которые имеют низкие механические характеристики при одинаковой

производительности, либо низкую производительность при высоких механических свойствах;

- устойчивость при высоких температурах и перепадах температур;
- химическая устойчивость к кислотам, щелочам и растворяющим средствам;
- более высокая тонкость очистки по сравнению с бумажными и проводочными фильтроэлементами;
- широкий предел изменений величины пор (от 1 до 2000 мкм);
- хорошая рециркуляция и возможность очистки под давлением;
- простота в обслуживании и использовании;
- фильтры являются регенерируемыми.

Для повышения производительности и тонкости очистки путем фильтрации, требуется снизить вязкость загрязненного масла, например, с помощью поверхностно-распределенных электронагревателей или растворителей. При этом на качество очистки влияет давление, под которым очищаемое масло нагнетается в камеру с фильтрующим элементом. В ходе исследований определяются наиболее оптимальные его пределы. Путем подбора соответствующего размера пор фильтра из порошкового материала и применения ступенчатого способа очистки, представляется возможным отделять из загрязненного масла не только механические частицы, но и даже образовавшиеся в нем смолы и таким образом осветлять масло.

Регенерация фильтров возможна путем промывки, обжига и последующей продувки и другими способами.

## **СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОДУЛЯ**

*Акулович Л.М., Ракомсин А.П., Кожуро Л.М., Крутов А.В.  
ГП КТИ СМА, ГП "МАЗ", БАТУ*

Одним из путей повышения эффективности ремонтного производства является создание технологических комплексов, основы оптимального проектирования которых заложены И.И.Артюбовским и Л.Н.Кошкиным. Технологический комплекс предложено разрабатывать в два этапа:

1) структурный синтез, при котором рассматриваются принципиальные схемы решений, отвечающих исходным технологическим условиям;

2) параметрический синтез. в ходе которого схемное решение воплощается в конструктивные формы в виде совокупности конкретных механизмов, блоков, устройств и элементов технологического оборудования, в том числе и гибких производственных модулей (ГПМ).

Методы анализа компоновок ГПМ содержат исследование структуры и предварительный отбор вариантов компоновок; изучение влияния последних

на характеристики качества, жесткости, точности, износостойкости элементов и рассмотрение методов их оптимизации.

Как показали наши исследования при восстановлении и упрочнении деталей с помощью ГПМ, целесообразно использовать термомеханические и электромагнитные потоки вещества и энергии, так как процессы формирования поверхностей деталей носят, в основном, термомеханический характер, а электромагнитные потоки, вследствие простоты их формирования и удобства в управлении, наиболее технологичны.

Одновременное применение при обработке нескольких потоков энергии, передаваемых в рабочую зону как технологической средой, так и инструментом, резко повышает производительность технологических операций.

Рассмотрим всю гамму технологических операций: нанесение покрытий, термообработку, деформирование, шлифование и полирование поверхностных слоев, которые должны реализовываться ГПМ при термомеханическом восстановлении и упрочнении в электромагнитном поле. Для нанесения поверхностного слоя ГПМ использует метод электромагнитной наплавки. Процессами формирования поверхности при наплавке управляют электромагнитные потоки, которые, помимо фиксации частиц ферропорошка, обеспечивают интенсивное тепловыделение в местах их контакта с деталью и, изменяя электросопротивление в рабочей зоне, регулируют сплошность покрытия и стабилизируют его толщину.

Для термообработки поверхностного слоя применяется электродуговой разряд, позволяющий также легировать поверхностный слой основы как элементами материала ферропорошка, так и элементами присадок в транспортирующей жидкости. Управлять как глубиной, так и степенью упрочнения поверхностного слоя в процессах термообработки и легирования позволяют, главным образом, электромагнитные потоки в рабочей зоне.

Для деформационного упрочнения поверхностных слоев в ГПМ используют накатники. При поверхностном пластическом деформировании шариком дополнительные степени свободы позволяют ему в результате взаимодействия с обрабатываемой поверхностью помимо качения совершать вращение.

Нагрев поверхностного слоя препятствует вращению и уменьшает длину траектории шарика, что приводит к снижению интенсивности пластической деформации. Таким образом, управлять процессом деформирования позволяет термическое воздействие и дополнительное вращение шарика.

В процессе шлифования с увеличением глубины резания при врезании инструмента или колебании припуска возрастают силы резания и трения, которые способствуют активному выкрашиванию абразивных частиц круга. Вследствие этого возрастают интенсивность изнашивания круга и скорость переноса выкрошенных частиц, сопровождающиеся нагревом. В результате

уменьшения скорости скольжения, равной разности скоростей резания и переноса частиц, а также температурного разупрочнения обрабатываемого покрытия, снижаются силы резания и трения, что приводит к снижению интенсивности процесса выкрашивания, такие колебания интенсивности позволяют, обновляя абразивные частицы круга, управлять процессом шлифования.

Обработка вязких и пластичных материалов абразивным кругом приводит к засаливанию, что препятствует его самозатачиванию. В этом случае лучше применять магнитно-абразивную обработку, при которой съём металла осуществляется удерживаемыми в рабочей зоне энергией магнитного поля зёрнами абразивного порошка с ферромагнитным покрытием, тогда управлять процессом позволяет магнитный поток.

Результаты исследования процессов нанесения, термообработки, деформирования, шлифования и полирования поверхностных слоёв позволили сделать вывод о том, что ГПМ может длительное время устойчиво работать в автоматическом режиме.

В соответствии с используемыми электромагнитными и термомеханическими потоками энергии ГПМ конструктивно подразделяется на три структурные составляющие: электрическую, механическую и систему управления (см.рис.).

Механическая часть включает: механизмы смены и крепления заготовки; механизм относительного перемещения электромагнитного питателя, состоящего из бункера-дозатора с механизмом вибрации; электромагнитную систему, имеющую электромагнитную катушку и магнитопровод с полюсным наконечником; механизмы подачи ферропорошка и рабочей жидкости в зону обработки; механизмы крепления и относительного перемещения режущих и деформирующих инструментов, крепящихся в держателях, установленных на продольнопоперечном суппорте; механизмы движения заготовки.

Электрическая часть содержит: источник разрядного тока; магнитную систему, создающую постоянное магнитное поле в рабочей зоне и блок управления работой электромагнитов; блоки относительного перемещения электромагнитного питателя; блоки управления подачей ферропорошка и рабочей жидкости; блок относительного перемещения инструмента; блок автоматического регулирования режимов обработки; блок главного движения заготовки; датчики обратной связи.

Сопряжения блоков электрической части с узлами механической части и микропроцессорной системой управления показаны на структурной схеме ГПМ (см.рис.).

Разработанная структурная схема ГПМ для термомеханической обработки в электромагнитном поле содержит все необходимые составляющие механической системы: объекты управления, приводы, датчики, управляющие устройства, сопряжённые между собой, систему программирования.

Для конкретных условий производства могут быть рекомендованы различные схемы компоновки блоков и узлов ГПМ, но при этом основа структурной схемы модуля сохраняется.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т98-181).

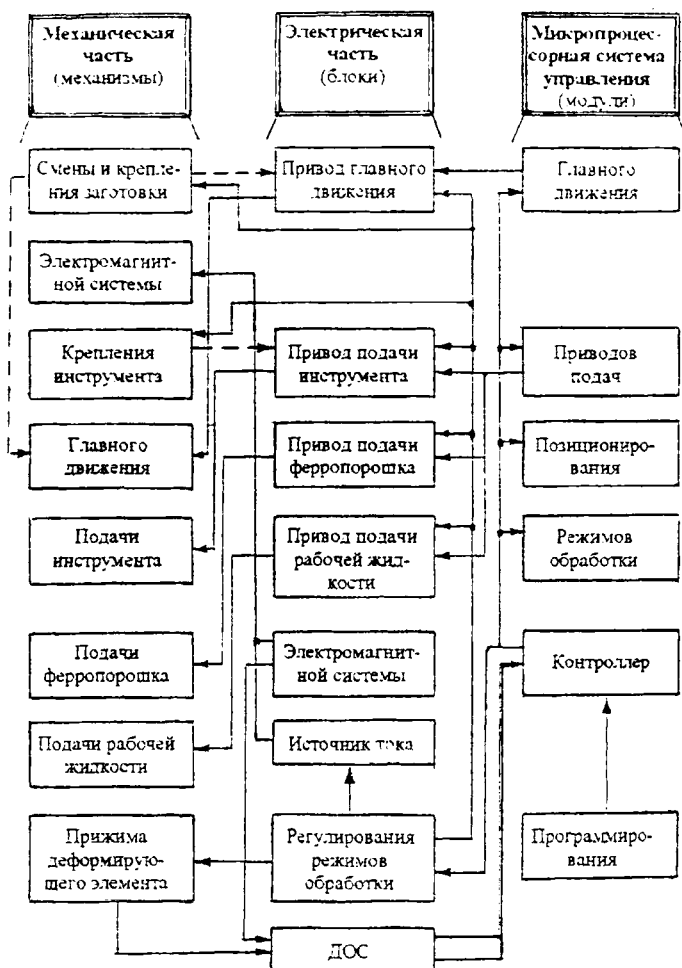


Рис. Обобщенная структурная схема гибкого производственного модуля термомеханической обработки в электромагнитном поле.

## УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ

*Ракомсин А.П.  
ГП "МАЗ"*

Известно, что различные методы наплавки являются одним из наиболее гибких способов не только восстановления рабочих поверхностей деталей машин, но и упрочнения и увеличения срока их службы.

В работе проводились исследования усталостной прочности деталей машин типа тел вращения, упрочненных и восстановленных электромагнитной наплавкой (ЭМН) и электромагнитной наплавкой с поверхностным пластическим деформированием (ЭМН с ППД). Исследовалось влияние на усталостную прочность метода наплавки покрытия, получаемого из материала порошка Fe-10%V.

Исследования проводились стандартным методом с построением зависимости Веллера в координатах  $-\lg N$ , при нагружении в условиях изгиба с вращением консольно закрепленного образца на машине типа У-20М. Критерием выхода из строя являлось разрушение образца под действием знакопеременной нагрузки с постоянной амплитудой.

Образцами служили заготовки из нормализованной стали 45, имеющие соотношение  $l/d=15$ , где  $l=150$  мм – длина и  $d=10$  мм – диаметр. Образцы после ЭМН и ЭМН с ППД обрабатывались абразивным шлифованием и магнитно-абразивной обработкой до получения шероховатости поверхности  $Ra=0,6-0,8$  мкм. Наплавка и механическая обработка производились на оптимальных режимах.

Анализ полученных результатов испытаний показал, что при циклическом нагружении образцов покрытия полученные ЭМН и ЭМН с ППД имеют различную способность к сопротивлению усталостному разрушению. Это может быть объяснено неодинаковой чувствительностью материала покрытий к дислокационному скольжению, т.е. к процессам, влияющим на усталостное разрушение. Усталостная прочность наплавленных поверхностей порошком Fe-10%V выше эталона (сталь 45, твердость 54–56 HRC) соответственно на 8 и 20 %.

Снижение предела выносливости вызывается рядом причин: наличием дефектов в виде пор и трещин, остаточных напряжений растяжения и др. Повышение обусловлено тем, что ЭМН с ППД формирует в системе покрытие-основа остаточные напряжения сжатия, увеличивает зону термического влияния при наплавке, приводит к распаду остаточного аустенита, превращая его в мартенсит с образованием при деформации высокодисперсных карбидов, блокирующих сдвиги по плоскостям скольжения. Это обеспечивает по-

вышение поверхностной прочности. Кроме того, ППД при ЭМН уменьшает пористость покрытия, что также повышает усталостную прочность наплавленных поверхностей.

Таким образом, сочетание ЭМН с ППД способствует созданию условий для комплексного формирования параметров качества поверхностного слоя, наиболее полно отвечающих служебному назначению упрочненных или восстановленных деталей машин.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т98-181).

## **СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ С ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

*Ракомсин А.П., Сидоренко М.И.  
ГП "МАЗ"*

Электромагнитная наплавка с поверхностным пластическим деформированием – технологический процесс, сочетающий нанесение, термообработку и упрочняющее нанесение покрытия, повышающий износостойкость поверхности за счет формирования рациональных геометрических параметров и структур поверхностного слоя.

В работе формирование структуры и фазового состава поверхностного слоя при электромагнитной наплавке с пластическим деформированием рассматривалось при нанесении порошка Fe-V.

Изучение структур поверхностных слоев после комбинированного упрочнения позволяет отметить ряд особенностей по сравнению с наплавкой без последующего деформирования.

Во-первых, достаточно высокая плотность и однородность наружной части наплавленного покрытия и менее плотная структура в зонах, удаленных от поверхности, а также отсутствие ориентированного столбчатого, дендритного строения металла покрытия, присущего наплавке без деформирования.

Во-вторых, сильно размыты границы между наплавленным слоем и подложкой, более развит диффузионный слой, в котором происходят превращения, соответствующие полной закалке.

В-третьих, расширена зона термического влияния, фазовые превращения в ней развиты более глубоко, а изменение твердости при переходе от наплавленного слоя к подложке менее резко.

В зоне термического влияния после комбинированного упрочнения можно выделить несколько участков. На границе между наплавленным слоем и подложкой располагается участок полной закалки, состоящий из игольчатого

мартенсита. К нему прилегает участок неполной закалки, состоящий из мартенсита, троостита и феррита. В феррите наблюдается дробление зерен в результате рекристаллизации, протекающей под воздействием нагрева и деформации. Это свидетельствует о действии пластической деформации не только на наплавленный слой, но и на поверхностные слои подложки.

О протекании диффузионных процессов в переходном слое свидетельствует характер распределения легирующих элементов, входящих в состав порошка. Распределение ванадия в поверхностном слое при нанесении порошка Fe-V показывает, что его концентрация достигает на поверхности наплавленного слоя максимума – 8%, а затем достаточно плавно снижается в направлении подложки. О более глубоком протекании диффузионных процессов при наплавке с поверхностным деформированием свидетельствует также распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя, которое носит немонотонный характер. Минимальная твердость наблюдается вблизи границы наплавленного слоя и подложки, что связано с перераспределением углерода из-за его повышенной растворимости в жидкой фазе и с обезуглероживанием на границе раздела жидкой и твердой фаз.

Общая глубина упрочнения при поверхностном пластическом деформировании наплавленного слоя составляет (0,65–0,8 мм, в то время как без деформирования не превышает 0,4–0,55мм.

Формирование текстуры поверхностного слоя, повышенная плотность дефектов кристаллического строения, образование дисперсных равномерно распределенных карбидов при электромагнитной наплавке с поверхностным пластическим деформированием способствуют повышению эксплуатационных свойств упрочненных и восстановленных деталей машин.

Таким образом, управляя термомеханическими процессами при наплавке и пластическом деформировании посредством регулирования параметров электромагнитного поля и усилия деформирования, можно при комбинированной обработке формировать поверхностные слои высокой прочности и износостойкости.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т98-181).

## **ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ В ЗОНЕ КРОМКИ ПРИ ЗАТОЧКЕ СЕГМЕНТОВ**

*Ефремов В.Д.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Режущие свойства сегментов зависят от вида материала, геометрии лезвия, радиуса округления кромки (или остроты лезвия) и физико-механических свойств в зоне кромки, формируемых в процессе заточки.

Особенностью теплопередачи в клиновидной области является уменьшение до нуля (на кромке) теплоотводящего объема металла. Эта особенность оказывает влияние на распространение температурных полей при шлифовании и используется для упрочнения зоны лезвия в процессе заточки (а.с. СССР N 1481036; 1689042, патенты РБ N 2366, 2159).

В работе предложен аналитико-экспериментальный метод определения температур, в основе которого лежит классическое уравнение теплопроводности. По этому методу некоторые теоретические априорные допущения заменяются данными результатов экспериментов и наблюдений.

Положительной стороной аналитико-экспериментального направления исследований является возможность сочетать широкие аналитические обобщения с количественными зависимостями, имеющими определенный физический смысл. Экспериментальные данные, принимаемые для построения расчетных схем, повышают точность полученных аналитических зависимостей.

Клиновидная область сегмента в цилиндрических координатах может характеризоваться радиусом - вектором и полярным углом, а также углом заострения клина.

При  $\beta = 180^\circ$  клиновидное пространство превращается в полупространство, а при  $\beta = 0^\circ$  теплоотводящая зона исчезает, и тепловой источник фиксирует контактную температуру с учетом бесчисленного множества отраженных источников, учитываемых коэффициентом "m", который представляет собой количество фиктивных (отраженных) источников, компенсирующих устраняемую часть неограниченного пространства. Количество отраженных источников зависит от угла и может быть представлено следующей зависимостью:

$$m = (180 / \beta) - 1 \quad (1)$$

Формирование клиновидной области алмазно-абразивной обработкой и доводкой может осуществляться путем шлифования по передней грани, заточке по задней грани, либо подвергаться обработке одновременно по обеим граням (например, при нарезании резьб многониточным кругом). В результате, тепловую модель клиновидного тела можно представить в следующем виде: по передней (обрабатываемой) поверхности или грани клина с углом заострения и скоростью V движется концентрированный источник тепла в виде полосы, ширина контакта которого (2h) может быть ориентирована по отношению к кромке: нормально, параллельно или под углом.

Используя классическую теорию теплопроводности, запишем уравнение теплопроводности с перемещением источника тепла в направлении осей oz и oy или ( $z/\cos \varphi$  или  $y/\cos \varphi$ ), а также учитывая цилиндрические координаты и тепловую схему, рассмотрим температурное поле внутри клина как нестационарную задачу с граничными условиями. Тогда дифференциальное

уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах может быть записано:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \gamma^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + V \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;

$\tau$  – время действия теплового источника;

$T$  – искомая температура.

со следующими начальными и граничными условиями

$$T \Big|_{\tau=0} = 0; \quad \frac{\lambda}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial \gamma} \Big|_{\substack{\gamma=0 \\ b'<b}} = q; \quad \frac{\partial T}{\partial \gamma} \Big|_{\substack{\gamma=0 \\ b'>b}} = \frac{\partial T}{\partial \gamma} \Big|_{\gamma=\beta} = 0, \quad (3)$$

где  $q$  – плотность теплового источника;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности.

В качестве частного решения дифференциального уравнения (2) используется функция Грина, которая в подвижной системе координат имеет вид

$$T(x, y, z, \tau) = \frac{Q}{c\rho(4a\pi\tau)^{3/2}} \cdot \exp \left[ -\frac{(r-r')^2 - 2r'r'\cos\gamma + (z-z' + V\tau)^2}{4a\tau} \right], \quad (4)$$

где  $Q$  – количество теплоты, направленное в деталь;

$c$  – удельная теплоемкость детали;

$\rho$  – плотность стали.

Отсутствие теплового потока на поверхности ( $\gamma=0$ ), согласно теории отражения, компенсируется удвоенной мощностью источника на передней грани.

Для учета влияния на температурное поле адиабатической границы ( $\gamma=\beta$ ), компенсирующей мощность отброшенной части (эквивалентную количеству отраженных источников), а также, вводя плотность теплового потока и проинтегрировав выражение (2) в соответствующих пределах, получим температуру в виде произведения, выраженного для полуограниченного тела, на некоторую функцию  $K(r, \gamma, z, m)$ , характеризующую влияние ограниченности размеров детали (5)

$$T = \frac{2qa}{\pi\lambda V} \int_{z-H}^{z+H} K(r, \gamma, z, m) \exp(-u) K_0(u) du, \quad (5)$$

где  $Z = Vz/2a$ ;  $H = Vh/2a$  – безразмерные комплексы по координате и ширине теплового источника, соответственно;

$K_0(u)$  – модифицированная функция Бесселя второго ряда нулевого порядка;

$\exp(-u)$  – функция распространения теплоты по глубине детали с учетом отраженного источника.

Для условий упрочняющей заточки с учетом множителя  $K(r, \gamma, z, m)$  выражение (5) можно записать в виде:

$$T = \frac{2qa}{\pi\lambda\nu} \cdot \frac{m}{2} \int_{z-H}^{z+H} \exp(-u) K_n(u) du \quad (6)$$

Анализ формулы (6) при  $m/2 = K'$  показывает, что при  $r \rightarrow 0$  и  $\beta = 90$  влияние ограниченности размеров ослабляется, а при  $r = \infty$  и  $\beta = 180$  для всех координат множества, решение превращается в обычное, т.е. для полубесконечного тела.

Используя уравнение (5) применительно к случаю, когда тепловой источник (шлифовальный круг) движется нормально к кромке (по оси  $Z$ ), то, с учетом безразмерных комплексов и баланса тепла ( $K''$ ), формула (6) может быть записана следующим образом:

$$T = \frac{2qa}{\pi\lambda\nu} \cdot K'' \cdot \frac{90}{\beta} [J(Z+H) - J(Z-H)], \quad (7)$$

где  $J(z) = \int_0^z e^{-u} K_n(u) du$  – функция распространения тепла в глубину детали.

Для учета влияния ограниченности теплоотводящего объема ( $\beta$ ) используем коэффициент  $K'$  и, обозначив температуру внутри клиновидной области  $J_2 = [J(Z+H) - J(Z-H)]$  через безразмерную величину, получим:

$$T = 2qa / \pi\lambda\nu \cdot K'' \cdot K' \cdot \Theta, \quad (8)$$

где  $\Theta$  – максимальное значение интеграла  $J_2$ , зависящее от  $H$ .

Используя аналитико-экспериментальный принцип, уточнено количество действующих факторов и значение коэффициента  $K'$ . С этой целью проведены экспериментальные исследования в условиях интенсивного воздействия сил и температур при заточке, когда наряду с обычной абразивной обработкой обеспечивается термический цикл закалки лезвия сегмента. По данным экспериментов коэффициент  $K'$ , в зависимости от материала инструмента, изменяется в пределах от 1,15 до 1,33; от угла заострения клина от 1,0 до 1,42; в зависимости от глубины шлифования от – 1,27 до 1,84; от скорости детали  $K' = 1,09 - 1,82$ .

Указанные коэффициенты, полученные экспериментально, проверялись путем численного расчета методом конечного элемента и показали сходимость в пределах 80%. Результаты расчета по предложенной аналитико-экспериментальной модели существенно уточняют известные аналитические модели, построенные на основе теории отражения, и позволяют уточнить режим упрочняющей заточки сегментов.

## ДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛОПРОКАТА НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ

*Сидоренко М.И.  
ИП "МАЗ"*

Несмотря на многообразие существующих способов и устройств для деления металлопроката на мерные заготовки, проблема получения заготовок с хорошим качеством как боковой, так и торцевой поверхности не теряет своей актуальности. Острота этой проблемы становится тем отчетливее, чем короче заготовки требуется получить. В связи с этим ведутся интенсивные работы по разработке новых способов деления металлопроката на мерные заготовки как в нашей стране, так и в странах СНГ и дальнем зарубежье.

На ИП "МАЗ" проведены комплексные исследования по делению металлопроката на мерные заготовки. Так, в рамках двумерной модели, учитывающей неравномерность полей в объеме деформирующего материала, получены аналитические представления полей скоростей, скоростей деформаций и значения интенсивности скоростей деформаций. При этом поля напряжений построены с использованием системы физических уравнений пластического течения Леви–Мизеса и рационализированы на основе минимизации мощности процесса поперечно-клиновой прокатки. Определены основные энерго-силовые параметры процесса деления прутков на мерные заготовки поперечно-клиновой прокаткой.

Проведенные исследования позволили установить предельную степень обжатия металлопроката клиновыми ребордами, при которой процесс пластического деформирования заканчивается хрупким разрушением. Это дало возможность по величине предельной степени обжатия прутка прогнозировать свойства получаемых заготовок, а также разрабатывать процессы деления прутков на мерные заготовки поперечно-клиновой прокаткой и определять оптимальную геометрию рабочего инструмента.

По результатам экспериментальных исследований построены поля распределения твердости материала в очаге пластической деформации, подтверждающие допустимость представлений и предположений, принимаемых при аналитическом решении задачи пластического деформирования прутков, разделяемых поперечно-клиновой прокаткой.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований по делению металлопроката на мерные заготовки разработаны новый способ и устройства для деления прутков на мерные заготовки поперечно-клиновой прокаткой. Новые схемы деления обеспечивают расширение технологических возможностей используемого на МАЗе оборудования, снижение его металлоемкости, повышение надежности работы, а также обес-

печивают высокое качество получаемых заготовок, используемых на операциях как холодного, так и горячего выдавливания деталей автомобилей семейства МАЗ и автобусов, которые за последнее время нашли рынок сбыта не только в нашей стране, но и за ее пределами.

## **РАДИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНЫЕ ПЛАНЕТАРНЫЕ ПЕРЕДАЧИ В ПРИВОДАХ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

*Пашкевич А.М.*

*Могилевский машиностроительный институт*

Одним из методов восстановления поверхностей является наплавка. Для осуществления этого процесса обычно применяют металлорежущие станки. Например, при восстановлении цилиндрических деталей применяются токарно-винторезные станки, которые при этом работают с низкой частотой вращения. Такое использование станка является экономически невыгодным, ввиду того, что столь высокая мощность, которой обладает станок, не является необходимой. Не используются по назначению и коробки скоростей и подач. Гораздо более удобным и дешевым будет использование в качестве привода для вращения детали и перемещения инструмента электродвигателя и редуктора, или мотор – редуктора, понижающего частоту вращения двигателя. В качестве редуктора удобно использовать радиально-плунжерную передачу из-за простоты ее изготовления, надежности и достаточно высокой точности. Эта передача образована объединением двух кулачковых механизмов в единый механизм с общими толкателями. В такой передаче ведущий кулачок – это круговой эксцентрик, взаимодействующий при вращении с толкателями (плунжерами), расположенными в радиальных отверстиях полого цилиндра (води́ла), охватывающего эксцентрик. При вращении ведущего вала, эксцентрик взаимодействует с плунжерами, а последние, в свою очередь, – со связанным с корпусом многопериодным кулачком, выполненным в виде периодического профиля с внутренним зацеплением. За один оборот эксцентрика каждый толкатель совершает одно возвратно-поступательное радиальное перемещение и переходит из одной впадины профиля в другую, а водило поворачивается на один угловой шаг.

Неподвижный кулачок с внутренним периодическим профилем может быть выполнен в виде зубчатого колеса, изготовленного с использованием долек на существующем оборудовании по традиционной технологии.

Передаточное отношение для таких редукторов первого класса можно выразить формулой

$$u = 1 \pm z,$$

где  $z$  – число роликов в периодическом профиле. Знак в формуле зависит от числа плунжеров  $m$ , которое принимается  $m = z + 1$  или  $m = z - 1$ .

Для редукторов второго класса (двухступенчатых) передаточные отношения определяются по известным зависимостям для бесконтурной и двух, одноконтурных структурных схем соответственно:

$$\begin{aligned}u &= u_1 u_2, \\u &= 1 / (1 - u_1 u_2), \\u &= 1 - u_1 u_2,\end{aligned}$$

где  $u_1$  и  $u_2$  – передаточные отношения для первого и второго рядов передачи, каждый из которых представляет собой планетарный редуктор первого класса. Кинематические схемы редукторов первого класса были образованы путем поочередного загормаживания одного основного звена планетарного механизма и поочередного приписывания роли ведущего и ведомого двум другим его звеньям.

## **ВОЛНОВОЙ РЕДУКТОР ДЛЯ ПРИВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Пашкевич М.Ф., Малякко С.С., Пашкевич А.М.  
Могилевский машиностроительный институт*

Серийно выпускаемые Киевским опытно-показательным редукторным заводом волновые редукторы типа В или волновые мотор-редукторы типа МВз сложны в изготовлении, так как содержат сложный генератор волн и специальный гибкий подшипник. В них нет возможности регулировать зазоры в зацеплениях, возрастающих по мере износа зубьев зацепляющихся колес, а также они имеют недостаточную нагрузочную способность, так как в зацеплении находится ограниченное число мелкомодульных зубьев.

Нам удалось в известной мере устранить эти недостатки. Генератор волн мы выполнили в виде эксцентрично установленных на ведущем валу роликов и механизма радиального перемещения этих роликов, выполненного в виде клино-плунжерного механизма. Отличие разработанного нами редуктора состоит в первоначальной генерации волн гибкого колеса при сборке. Так, если в стандартной конструкции редуктора две волны колеса генерируются путем посадки гибкого зубчатого венца этого колеса на эпитрахoidalный кулачок, снабженный подшипником, то в предлагаемом волновом редукторе две волны гибкого колеса образуются при радиальном перемещении роликов, которые установлены на осях плунжеров клино-плунжерного механизма. При регулировке клин своими скосами воздействует на плунжеры, раздвигая их в радиальном направлении. При этом ролики получают радиальные перемещения и вызывают тем самым деформацию зубчатого венца гибкого коле-

са. Гибкое колесо из цилиндрического превращается в эллипсное, и его зубья входят в зацепление с зубьями жесткого колеса в двух диаметрально противоположных зонах.

В зависимости от величины радиального перемещения роликов от центра колеса к периферии, в зубчатых зацеплениях регулируется зазор, который, как известно, является главным показателем работоспособности волнового редуктора.

Генератор волн может быть выполнен также с тремя и более роликами. В этом случае принцип получения волн гибкого колеса тот же -- при помощи клин-плунжерного механизма, перемещающего ролики от центра колеса к периферии.

Передаточное отношение данного волнового редуктора такое же, как у известного, т.е.

$$i = - z_3 / (z_2 - z_3),$$

где  $z_2$  и  $z_3$  -- числа зубьев жесткого и гибкого колес соответственно.

Таким образом, в предлагаемом редукторе устранен отмеченный выше недостаток -- сложность генератора волн.

Повысить нагрузочную способность редуктора можно в том случае, если заставить гибкое колесо на возможно большей протяженности находиться в зацеплении с жестким колесом. Достигается это тем, что в данном волновом редукторе диаметр основной окружности зубчатого венца гибкого колеса принимается больше диаметра основной окружности зубчатого венца жесткого колеса. В этом случае ролики генератора волн при вращении вокруг оси редуктора не генерируют волну гибкого колеса, а перемещают ее впереди себя. Эта волна образована не генератором волн, а предварительным деформированием гибкого колеса перед сборкой с жестким колесом. При наличии одной волны нагруженным при работе оказывается только один ролик. Следовательно, и ведущий вал нагружен неуравновешенной консольно приложенной силой. Для уравнивания этой силы требуется нагрузить такой же силой второй ролик генератора волн. Это достигается при симметричном деформировании гибкого колеса таким образом, чтобы возникло две симметрично расположенных волны.

Как видно из представленной выше формулы, передаточное отношение такого волнового редуктора имеет наибольшее значение при  $z_2 - z_3 = 1$ . Но если надо получить весьма большие передаточные отношения, то необходимо изготавливать зубчатые колеса с большим числом зубьев. Это обстоятельство является существенным недостатком, если требуется получить малогабаритный редуктор с большим передаточным отношением. Устранить этот недостаток можно в том случае, если в волновом редукторе рабочие венцы жесткого и гибкого колес выполнить гладкими. Тогда передаточное отношение будет определяться формулой

$$i = -D_3 / (D_2 - D_3),$$

где  $D_2$  и  $D_3$  – диаметры окружностей рабочих венцов жесткого и гибкого колес.

В данном редукторе при значениях диаметров, например,  $D_2 = 100$  мм,  $D_3 = 100,1$  мм передаточное отношение составит  $i = 1001$ .

Таким образом, в данном волновом редукторе обеспечиваются также высокие значения передаточных отношений.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛ ПРИ СРЕЗАНИИ РАСТЕНИЙ

*Ефремов В.Д., Ходосевич В.И., Рубацкий С.П.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Исследование физико-механических свойств материалов, обрабатываемых резанием, ведется на основе традиционно установившейся практики – исследовании общих свойств материалов. Эта практика в значительной степени заимствована из таких дисциплин, как сопротивление материалов и материаловедение. Данные, полученные в результате этих исследований, используются в теории резания Пуансоном и резцом, преимущественно упругих материалов (металлов), что далеко не удовлетворяет условиям резания лезвием упруговязких материалов, к которым можно отнести большинство сельскохозяйственной продукции и растений.

Одним из важных технологических свойств растительных материалов является сопротивление разрушению или разделению на части. Критическое усилие этого разрушения (или среза) может быть рассчитано по следующей зависимости:

$$P_k = 2\Delta\sigma_k + \frac{E}{2} \cdot \frac{h^2}{h} \left[ \lg \beta + f \sin^2 \beta + \mu \cdot (f + \cos^2 \beta) \right],$$

где  $\Delta$  – радиус округления кромки сегмента;  $\beta$  – угол заточки;  $h_1$  – толщина слоя сжатого лезвием до момента начала резания;  $h$  – толщина пересрезаемого слоя;  $E$  – модуль упругости;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $f$  – коэффициент трения материала о лезвие;  $\sigma_k$  – контактное (разрушающее) напряжение на кромке лезвия.

Модель резания упруговязкого тела может быть представлена как сочетание материалов с упругими и вязкими свойствами. Стебли растений представляют собой ткани, образованные пространственной волокнистой системой, в полостях которых содержится жидкость, поры и газы. Будучи деформирована, волокнистая составляющая материала давит на жидкую или газообразную среду, окружающую ее, заставляя перемещаться в места менее на-

пряженной зоны. В соответствии с законами гидравлики, сопротивление среды при таком перемещении зависит от скорости и сил резания.

Эта модель хорошо объясняет причины, по которым в вязких телах деформация является функцией силы резания и времени ее действия.

В реологических моделях, характеризующих свойства материалов, принято упругость изображать в виде пружины, деформация которой подчиняется закону Гука, а вязкость – в виде цилиндра с вязкой жидкостью, в котором перемещение поршня подчиняется закону Ньютона. Последовательные и параллельные соединения указанных элементов позволяют моделировать деформацию, а, следовательно, и силы при срезании стеблей растений.

Для отражения картины поведения волокнистых растительных материалов под нагрузкой больше подходит физическая модель, содержащая три последовательно соединенных элемента: элемента мгновенной упругости, элемента запаздывающей упругости, соединенного параллельно с элементом вязкости, и элемента течения, соединенного с первыми двумя элементами последовательно. Так, при быстром нагружении модели полная ее деформация происходит за счет сжатия пружины. При фиксации модели в сжатом состоянии пружина станет перемещать поршень цилиндра. По мере продвижения последнего пружина будет разжиматься, и напряжение уменьшится. В результате получится типичная картина релаксации напряжения при постоянной деформации.

Такая модель позволяет объяснить сущность процесса деформации упруговязких материалов под нагрузкой.

Разработана схема устройства, реализующая указанный принцип моделирования при срезании растений, в котором в качестве режущего инструмента выступает сегмент режущего аппарата, режущая способность которого связана с остротой (или радиусом округления) его кромки.

Сегмент приводится в возвратно-поступательное движение с помощью электромеханического привода и кулачкового механизма. Стебли растений (поодиночке или в пучках) подаются захватной частью в транспортер между двумя параллельными, плоскодвижущимися лентами, поджимаемые друг к другу роликами, в зону резания. Усилие среза фиксируется трехкомпонентным динамометром, подключенным к усилителю и осциллографу с записью сил резания на ленте.

С помощью указанного устройства возможно не только уточнить модель резания вязкоупругих тканей, но также, управляя остротой лезвия, установить оптимальную режущую способность сегмента при минимальных энергетических затратах на процесс резания.

# ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ С ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

*Кожуро С.Л.*

*Белорусская государственная политехническая академия*

Известно, что остаточные напряжения в покрытиях существенно влияют на эксплуатационные свойства восстановленных и упрочненных деталей и, прежде всего, на их динамическую прочность при циклических нагрузках. Доказано, что остаточные напряжения сжатия являются резервом повышения прочности деталей, а напряжения растяжения ослабляют их прочность, вызывают возникновение трещин, приводят к разрушениям.

Нами установлено, что при восстановлении деталей электромагнитной наплавкой различных порошков, в покрытиях из-за металлургической природы образования последних формируются остаточные напряжения растяжения. Поэтому представляло практический интерес определение остаточных напряжений 1 рода (макронапряжений) в покрытиях, полученных электромагнитной наплавкой с поверхностным пластическим деформированием, а также после их механической обработки. Нанесение покрытий на образцы и их последующая обработка производились на оптимальных режимах.

Остаточные макронапряжения в покрытиях определялись рентгеноструктурным анализом, используя метод определения параметров линейно-напряженного состояния металла по смещению линий рентгенограммы. Рентгеноструктурные исследования проводились на дифрактометре ДРОН-3М в кобальтовом непомохроматизированном излучении. Съемка профиля рентгеновской линии выполнялась в автоматическом режиме.

Рентгеноструктурные исследования показали, что в результате поверхностной пластической деформации покрытий, изменения удельных объемов при фазовых превращениях, различия коэффициентов линейного расширения материалов ферромагнитных порошков и основы в системе покрытие-основа возникают остаточные напряжения сжатия с большим градиентом по глубине деформационного слоя покрытий. В работе были сопоставлены значения остаточных напряжений в покрытиях в зависимости от химического состава порошков и методов механической обработки. Установлено, что наибольшие остаточные напряжения сжатия имеют покрытия из порошка Fe-10%V, наименьшие – из порошка С-300. Шлифование покрытий приводит, главным образом, к изменению градиента напряжений. Благоприятное воздействие на остаточные напряжения оказывает магнитно-абразивная обработ-

ка, после которой они увеличиваются на поверхности покрытий из порошков Fe-10%V, P6M5Ф3 и С-300 и соответственно составляют 730; 640 и 580 МПа.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что поверхностное пластическое деформирование покрытий, полученных электромагнитной наплавкой, формирует в системе покрытие-основа напряжения сжатия. Величина остаточных напряжений сжатия зависит от химического состава порошка. Шлифование и магнитно-абразивная обработка покрытий увеличивает градиент напряжений. Верхние слои покрытий толщиной до 150 мкм представляют собой зону с большим градиентом напряжений, средние толщиной 100–200 мкм – зону с малым градиентом напряжений.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Т98-181.

## **ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АЛМАЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ**

*Ящерицын П.И., Кожуро С.Л., Шадуя В.Л.  
ФТИ НАНБ, БГПА*

Специфика механической обработки износостойких покрытий связана с их структурой. Поэтому при выборе метода и режимов обработки материала покрытий важно оценить возможное их влияние на свойства поверхностных слоев покрытий и основы, а также точность. Актуальны эти вопросы и для деталей, восстановленных электромагнитной наплавкой (ЭМН), которая является одной из промежуточных операций формирования рабочих поверхностей изделий с заданными формой, размерами и комплексом эксплуатационных свойств. Установлено, что ЭМН легированных порошков на железной основе обеспечивает твердость покрытия 60–64 HRC, толщина которого составляет 0,4–0,6 мм, а шероховатость поверхности по параметру Ra = 25–32 мкм. При ЭМН в сочетании с поверхностным пластическим деформированием (ППД) шероховатость поверхности резко снижается и достигает Ra = 3,2–6,3 мкм. Поэтому механическую обработку покрытий, полученных ЭМН, целесообразно производить абразивным шлифованием, а покрытий, наплавленных ЭМН с ППД, эффективно шлифовать алмазными кругами.

Известно, что основными эксплуатационными показателями, определяющими качество алмазных шлифовальных кругов, по ГОСТу 16181-82 являются: удельный расход алмаза ( $q$ , мг/см<sup>3</sup>), эффективная мощность шлифования ( $N_{\text{эф}}$ , кВт), режущая способность кругов ( $Q$ , мм<sup>3</sup>/мин) и шероховатость обработанной поверхности (Ra, мкм). Эти показатели получают для кругов различных характеристик при жесткой схеме шлифования на станках с дози-

рованной механической подачей, при этом режущая способность является расчетной постоянной величиной.

В ремонтном производстве при обработке износостойких покрытий на финишных операциях преобладает алмазное шлифование, где вопросы высокой режущей способности алмазных кругов являются доминирующими факторами, так как они в первую очередь определяют производительность и качество обработки.

Режущая способность алмазных шлифовальных кругов различных характеристик является величиной переменной, зависящей от характеристики круга, которая обуславливает его физико-механические свойства.

Известные методы и средства контроля эксплуатационных показателей качества алмазных шлифовальных кругов не в полной мере позволяют оценить самозатачиваемость алмазного инструмента, то есть самопроизвольное поддержание в процессе обработки режущей способности в заданных пределах. По существующим критериям инструменты с низкими режущими свойствами, но имеющие высокую износостойкость, что очень важно при обработке износостойких покрытий, могут быть отнесены к инструментам высокого качества, хотя они и склонны к засаливанию и через определенный промежуток времени работы нуждаются в правке.

С целью улучшения оценки качества алмазных шлифовальных кругов при обработке износостойких покрытий целесообразно применять прибор модели ВАЭ-85 для контроля энергоемкости алмазных шлифовальных кругов, который разработан во ВНИИалмазе. Прибор позволяет производить оценку энергоемкости резцов и других режущих инструментов.

Измерение эффективных полезных затрат энергии при съеме заданного объема или массы с обрабатываемой детали алмазным кругом позволяет оценить удельную энергию шлифования  $N_{уд}$  ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^3$ ,  $\text{Вт}\cdot\text{ч}/\text{см}^3$  или  $\text{Вт}\cdot\text{ч}/\text{г}$ ). Удельная энергия  $N_{уд}$  шлифования в сравнительных условиях при обработке детали материала одной марки характеризует режущую способность круга, а также позволяет рассчитывать теплонапряженность в зоне резания.

С использованием прибора модели ВАЭ – 85 проведены сравнительные испытания удельной энергоемкости и самозатачиваемости шлифовального круга АПП 150×10×3 АСВ 125/100М58/100 с алмазным шлифовальным кругом АПП 150×10×3 АСВ 125/100 МП1/100 на пористой связке с ориентированными алмазными зёрнами, изготовленного по специальной технологии.

Испытания проводились на станке модели ЗВ64 при шлифовании образцов (20×15×10) из стали 45, на которые были нанесены ЭМН с ППД покрытия толщиной 0,5 мм из порошков Fe-10%V, P6M5K5 и ФВ-3 (за опыт снималось около 80 г). Режим шлифования: окружная скорость круга  $V_{кр} = 20$

м/с, продольная подача  $S_{пр} = 1 \text{ м/мин}$ , поперечная подача  $t = 0,04 \text{ мм/дв.ход}$ . Шлифования производили без охлаждения.

Результаты испытаний представлены в таблице. Видно, что по энергоемкости алмазные круги отличаются. Круг с ориентированными алмазными зёрнами имеет меньшую энергоёмкость. Обусловлено это конструкцией круга, в частности, расположением алмазных зёрен. Так, по нашим данным, 80% зёрен на рабочей поверхности обычного инструмента в резании не участвует, а остальные 20%, участвующие в обработке, находятся по отношению к плоскости резания в неблагоприятном положении по сравнению с лезвийным инструментом. Из этих 20% примерно 12% зёрен давящие и только 8–10% режущие. Следовательно, при расположении давящих зёрен таким образом, чтобы они стали режущими, режущая способность круга увеличивается на 10% и более, что и видно по данным сравнительных испытаний. Кроме того, ориентацией зёрен в круге обеспечивается не только режущая способность, но и создаются условия для снижения тепловыделения в зоне резания.

Анализ данных сравнительных испытаний показывает, что покрытия, имеющие наибольшую твердость, в частности, покрытия из ферробора ФВ-3 требуют больших затрат удельной энергии, а покрытия из порошка Fe-10%V – меньших.

Как видно из приведенных в таблице данных, удельный расход энергии, затраченной на сьем одного грамма твердого сплава, увеличивается в зависимости от продолжительности работы шлифовального круга. При "идеальной" самозатачиваемости кругов отношение величины удельной энергии, затрачиваемой на сьем износостойкого покрытия, в начальный период работы (например, за первый час работы) к величине удельной энергии, затрачиваемой в конечный период работы (например, за третий час работы), должно быть близким к 1, т.е.

$$K_c = N_n / N_k \approx 1,$$

где  $K_c$  – коэффициент самозатачивания;  $N_n$ ,  $N_k$  – удельная энергия соответственно в начальный и конечный периоды работы, Вт·ч/г.

При плохой самозатачиваемости кругов  $K_c$  будет значительно меньше 1, а при хорошей самозатачиваемости – приближается к 1.

Рассмотренная количественная оценка коэффициента самозатачивания кругов позволяет охарактеризовать эксплуатационные показатели кругов, т.е. способность кругов к самозатачиванию или засаливанию при шлифовании различных покрытий.

Таким образом, новые количественные критерии эксплуатационных показателей алмазных шлифовальных кругов (удельный расход энергии и коэффициент самозатачивания) могут быть весьма эффективными при оценке качества шлифовальных инструментов при обработке износостойких покрытий

Таблица

Характеристика круга, обрабатываемый материал покрытия	Продолжительность работы, ч	Масса снимаемого покрытия, г	Расход энергии, Вт·ч	Удельный расход энергии, Вт·ч/г	Коэффициент самозатачиваемости
АСВ 125/100М58/100, Fe-10%V	1	28,64	70	2,47	0,77
	2	26,82	75	2,80	
	3	25,45	80	3,14	
АСВ 125/100М58/100, P6M5K5	1	26,22	75	2,86	0,84
	2	25,46	80	3,14	
	3	24,98	85	3,40	
АСВ 125/100М58/100, ФВ-3	1	25,48	80	3,14	0,85
	2	24,72	90	3,64	
	3	25,61	95	3,71	
АСВ 125/100МП1/100, Fe-10%V	1	31,12	50	1,61	0,94
	2	30,94	55	1,78	
	3	31,98	55	1,72	
АСВ 125/100МП1/100, P6M5K5	1	28,74	55	1,91	0,92
	2	28,62	60	2,09	
	3	28,72	65	2,08	
АСВ 125/100МП1/100, ФВ-3	1	27,78	60	2,16	0,86
	2	28,24	65	2,30	
	3	27,82	70	2,52	

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Т98-181.

## ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ АПК

*Гальго В.И., Сергеев Л.Е.  
БАТУ, ФТИ НАНБ*

В машиностроительном комплексе АПК постоянно происходит процесс, направленный на повышение эффективности финишных методов обработки фасонных, в частности, сферических поверхностей деталей машин, что обуславливает разработку технологических процессов, гарантирующих обеспечение долговечности и надежности изделий. Одним из таких технологических процессов является магнитно-абразивная обработка (МАО).

Основное отличие схем МАО сферических поверхностей от обработки цилиндрических заключается в более высокой сложности оборудования для обеспечения кинематики процессов. Известно, что при перепаде диаметральных размеров обрабатываемых изделий до бмм данные схемы способны обеспечить равномерный съём материала по всей длине криволинейной образующей с уменьшением шероховатости с  $Ra_1=1,8-2\text{мкм}$  до  $Ra_2=0,1-0,2\text{мкм}$ . При

росте этого перепада эффективность обработки резко падает из-за изменения рабочего зазора по высоте изделия. Это также приводит к увеличению магнитного сопротивления и, следовательно, к уменьшению магнитной индукции, определяющей жесткость рабочего инструмента. Современные типы роторных станков, применяемых в основном для обработки сферических поверхностей методом МАО, обладают производительностью 500–700 дет/час. Такой темп и автоматический режим работы практически исключают оперативное вмешательство в технологический процесс и определяют необходимость ввода системы активного контроля, что увеличивает себестоимость продукции.

Основной проблемой МАО сферических поверхностей является то, что наружные точки элементарных участков диаметральных сечений изделия располагаются на разном расстоянии от оси вращения, что предопределяет различные скорости резания и неравномерность съема материала по высоте изделия. Для исключения данного "узкого места" необходимо оптимизировать эффективность обработки всех участков сферической поверхности детали в рабочей зоне. Одним из путей решения этой проблемы является использование отдельного привода на каждой позиции обработки, что позволило бы изменять частоту вращения изделия и скорость резания. Однако это существенно усложняет конструкцию станка и приводит к росту его стоимости. Экономически и конструктивно более выгодным представляется разработка электромагнитной системы с созданием на рабочих поверхностях полюсов концентраторов магнитного потока, положение которых на развертке описывается выражением:

$$f(x) = \frac{2\pi R}{H} \frac{\int_0^x r(x_i) dx_i}{k \int_0^x r(x_i) dx_i}$$

Проведенные испытания указанной системы показали, что применение таких концентраторов на полюсах электромагнитной системы, имеющей вид одной ветви гиперболы, приводит к повышению качества поверхности сферы в 1,7–2 раза и обеспечивает равномерность съема материала, как черных, так и цветных металлов.

В качестве изделий, пригодных для обработки данным видом инструмента, могут выступать шаровые пальцы, шарниры и другие детали машин, имеющие сферическую поверхность и перепад размеров которых превышает 8 мм.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОСЛЕ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ

*Гальго В.И., Сергеев Л.Е.*  
*БАТУ, ФТИ НАНБ*

Известно, что кинетика процесса изнашивания во времени определяется тремя периодами: приработка, установившийся износ, аварийный износ. Чтобы увеличить срок службы деталей машин, работающих в условиях различных видов трения, следует до минимума сократить износ в период приработки и максимально увеличить продолжительность установившегося износа, характеризующегося динамическим равновесием оптимальной структуры и микрорельефа. Износостойкость в период установившегося износа и время наступления аварийного износа в значительной степени зависят от свойств поверхностного слоя, сформировавшегося в период приработки. В связи с этим процесс формирования микрорельефа и структуры этого слоя и его зависимость от вида изнашивания определяют долговечность узлов трения. Так как структура и свойства поверхностного слоя деталей после изготовления или восстановления определяются финишными операциями, актуальным представляется исследовать их влияние на износостойкость сопряженных поверхностей.

Для оценки влияния технологических процессов финишной обработки на износостойкость в период приработки были проведены сравнительные исследования пар трения, в которых сопрягаемые детали на конечном этапе подвергались шлифованию и шлифованию с последующей магнитно-абразивной обработкой (МАО). Форму и значимость связи между различными факторами, имеющими стохастическую природу, определяли путем множественного регрессионно-корреляционного анализа. В качестве независимых переменных были выбраны параметры:  $R_a$ (мкм),  $H_m$ (МПа),  $d\sigma/dx$ (МПа/мкм). Параметр  $d\sigma/dx$  представляет собой первую производную от функции значений остаточных напряжений  $\sigma$ , характеризующую интенсивность их изменений по глубине поверхностного слоя. В результате обработки экспериментальных данных (материал сопрягаемых деталей – сталь ШХ15 ГОСТ801-78, 58–61HRC) установлено, что наибольшее влияние на износостойкость как после шлифования, так и МАО оказывает именно этот параметр. Кроме того выявлено, что интенсивность изнашивания после МАО в среднем на 25% ниже, чем после шлифования. Это связано с выравниванием структурной неоднородности поверхностного слоя, снижением пиков напряжений и повышением сопротивления распространения трещин в деталях.

Были проведены испытания на коррозионную стойкость в соответствии с ГОСТом 9.905-88 путем использования массового метода. Установлено, что коррозионная стойкость после применения МАО превышает аналогичный показатель после шлифования на 15-20%, что объясняется различием высотного параметра шероховатости  $R_a$ , достигаемого в данных технологических процессах, а также различиями в структурах поверхности после шлифования и МАО.

## УПРУГИЕ СВОЙСТВА И КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ

*Кожуро Д.Л. Газета "Компьютерные Вести"*

Известно, что модуль упругости первого рода (модуль Юнга), коэффициент Пуассона и коэффициент теплового расширения являются важными физико-механическими и теплофизическими характеристиками материалов. Для определения остаточных напряжений в системе покрытие-основа необходимо знать их значения для материалов основы и покрытия. Так как основа является, как правило, компактным материалом, то ее свойства хорошо известны из соответствующей справочной литературы. Что же касается покрытия, полученного электромагнитной наплавкой (ЭМН), то необходимые данные отсутствуют.

В настоящее время существуют самые различные способы определения упругих свойств материалов (механические, электрические, магнитные, резонансные и другие). Определение упругих свойств покрытий, полученных ЭМН, проводили механическим, термическим, а также звуковым методами, так как их материалы обладают определенной прочностью и не разрушаются при незначительных деформациях. Для этого были изготовлены образцы из исследуемых материалов порошков, которые имели форму стержней прямоугольного поперечного сечения размерами 80x11x3 мм.

Модуль упругости определяли при испытании образцов на изгиб по трехточечной схеме. При этом расстояние между опорами было принято  $l=70$  мм, нагружение образца силой  $F$  производилось на машине Р-0,5. Сила  $F$  прикладывалась по середине между опорами и отсчитывалась по шкале с ценой деления 2 Н. Прогиб образца  $f$  замерялся под точкой приложения силы с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,001 мм. Нагружение производилось в пределах справедливости закона Гука. Вначале нагружали до 10 Н для ликвидации зазоров между опорами и образцом. Затем через каждые 10 Н приращения силы замеряли прогибы. По данным измерений строили диаграммы в координатах сила-прогиб, где сплошной линией показывали диаграммы при нагружении, прерывистой – при разгрузке.

Установили, что экспериментальные точки достаточно хорошо ложатся на прямые, то есть наблюдается прямолинейная зависимость между прогибом  $f$  и силой  $F$ . Как известно в этом случае прогиб можно определить по формуле:

$$f = \frac{Fl^3}{48EI_x}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости;  $I_x$  – момент инерции поперечного сечения стержня относительно оси  $x$ .

Из формулы (1) следует, что

$$E = \frac{Fl^3}{48fl_x}. \quad (2)$$

Если учесть, что  $I_x = bh^3/12$ , где  $b$  – ширина, а  $h$  – высота образца, и обозначить  $K = F/f$ , то формула (2) примет вид

$$E = \frac{Kl^3}{48h^3}. \quad (3)$$

При определении модуля упругости исследуемых материалов порошков по формуле (3) размерность входящих в нее величин подставляли, соответственно, в Н и м.

Коэффициент Пуассона определяли звуковым методом путем возбуждения в исследуемом образце стоячей волны изгибных колебаний. Суть метода заключается в том, что, если в стержне прямоугольного поперечного сечения возбудить стоячую волну, то в первую половину периода колебания слой материала выше нейтральной оси будет испытывать по длине стержня деформацию растяжения, а слой материала ниже нейтральной оси – деформацию сжатия. Во вторую половину периода колебаний картина изменится на обратную. Верхний слой материала стержня будет испытывать деформацию сжатия, а нижний – деформацию растяжения.

Периодические продольные деформации растяжения и сжатия с частотой собственных колебаний стержня вызывают поперечные сокращения слоев материала, величина которых зависит от коэффициента Пуассона материала.

Схема устройства для измерения коэффициента Пуассона путем возбуждения в исследуемом образце стоячей волны изгибных колебаний состоит из двух мостов Уинстона, один из которых служит для измерения продольной деформации, другой – для измерения поперечной деформации.

Коэффициент Пуассона определяли по формуле:

$$\mu = \Delta V_{\text{поп}} / \Delta V_{\text{пр}},$$

где  $\Delta V_{non}$  – амплитуда напряжения на выходе моста для измерения периодической поперечной деформации;  $\Delta V_{np}$  – амплитуда напряжения на выходе моста для измерения периодической продольной деформации.

Коэффициент теплового расширения определяли с помощью кварцевого dilatометра. Dilатометрическая ячейка состояла из кварцевой трубки с внутренним диаметром 18 мм и толкателя. Исследуемый образец помещался между выступом на нижнем конце трубки и толкателем. Перемещение толкателя измерялось с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,001 мм. При изменении температуры удлинение образца за вычетом удлинения кварцевой трубки, равной по длине образцу, передается толкателем на индикатор. Точность определения коэффициента теплового расширения в данном случае в основном зависит от точности индикатора.

При испытании исследуемых материалов порошков нагрев образца производили от 20 до 120°C. Среднее значение коэффициента теплового расширения кварца в принятом диапазоне температур было принято  $\alpha_{кв} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ . Коэффициенты теплового расширения исследуемых материалов порошков определяли по формуле

$$\alpha = \frac{\Delta l}{lT} + \alpha_{кв},$$

где  $\Delta l$  – среднее значение удлинения образца, мм;  $l$  – длина образца, мм;  $T$  – температура нагрева образца, °C.

Результаты исследования модуля упругости первого рода, коэффициентов Пуассона и теплового расширения покрытия, полученных ЭМН, представлены в таблице.

Таблица

№ п/п	Материалы порошка	$E, 10^{10} \text{ Н/м}^2$	$\alpha, 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$	$\mu$
1	Fe-10%V	20,21	11,2	0,25
2	Fe-Ti	15,39	11,2	0,33
3	C-300	18,03	8,6	0,31
4	P6M5Ф3	17,83	10,6	0,32
5	ПЖРВ2	19,54	11,5	0,30
6	Fe-Cr	20,22	15,7	0,30
7	P6M5K5	19,04	10,9	0,32
8	ФБ-3	18,94	9,4	0,31
9	ПР-Сталь 5-1%B	19,06	11,4	0,32
10	Fe-2%V	20,25	11,4	0,27

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект Т98-181.

### 3. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

#### ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ – ВАЖНЕЙШЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ МАШИН

*Батищев А.Н.*

*РГАЗУ*

Известно, что в структуре себестоимости ремонта машин 50–70% затрат приходится на запасные части. Поэтому основным путем снижения себестоимости ремонта машин, а также расхода и дефицита запасных частей является восстановление изношенных деталей, себестоимость которых составляет 30...50% от стоимости новых. Кроме того, восстановление деталей – это важнейший резерв экономии материально-сырьевых и энергетических ресурсов. Известно, что стоимость запчастей достигает 40–50% от стоимости выпускаемых тракторов и автомобилей.

В стоимости новых деталей 75–80% составляют затраты на металл. При изготовлении многих деталей более половины металла идет в отходы. В то же время при восстановлении деталей расход металла и энергии в десятки раз меньше, чем при их изготовлении. Большинство изношенных деталей теряют не более 1% исходной массы, а износ их рабочих поверхностей не превышает 0,3 мм. При этом прочность деталей практически сохраняется, а значительное количество элементов и поверхностей вообще не изнашивается. А если учесть, что при переплавке металлолома безвозвратно теряется до 30% металла, то восстановление деталей имеет природоохранное и экологическое значение.

К сожалению, в последние годы объемы восстановления деталей сократились вдвое и составляют всего 9–10% от объема новых запасных частей. В передовых странах этот показатель значительно выше: в Германии и Японии – 40%, в США – 25%. Поэтому расширение объемов восстановления деталей представляет собой важнейшую государственную задачу, стратегическое направление ресурсосбережения в АПК. Эта проблема приобретает особое значение в условиях рынка, когда резко сокращается выпуск запасных частей при непомерном росте цен на них. Такое положение характерно для многих стран, в том числе для США, где ремонт машин становится экономически невыгодным из-за высоких цен на запчасти, и дилеры видят выход в расширении использования восстановленных деталей.

К настоящему времени разработаны десятки различных способов восстановления деталей. Многие из них позволяют значительно, иногда многократно повысить ресурс восстановленных деталей. В то же время некоторые

способы устарели или применимы в условиях крупного ремонтного предприятия. Для повышения эффективности и оперативности восстановления деталей должно быть приближено к потребителю. Следует поощрять развитие кооперативов, малых предприятий, дилерских пунктов и других форм организации восстановления деталей.

Применительно к новым условиям в докладе будут освещены следующие направления развития восстановления деталей.

1. Проведение мониторинга существующих технологических процессов.
2. Разработка экологически чистых, малоотходных и безотходных ресурсосберегающих технологий.
3. Разработка простых, доступных небольшим предприятиям технологий и оборудования.
4. Разработка способов, снижающих или исключаящих механическую обработку.
5. Разработка упрочняющих технологий (восстановление с упрочнением).
6. Разработка и выпуск миниатюрных ремкомплектов по отдельным способам восстановления деталей, включающих краговую технологическую инструкцию, необходимые приспособления и инструменты, материалы и т.д.
7. Подготовка и переподготовка кадров рабочих и специалистов по восстановлению изношенных деталей.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ МЕТОДОМ**

*Бурумкулов Ф.Х., Лялякин В.П.  
ВНИИТУВИД*

Состояние вопроса. В настоящее время во ВНИИТУВИД проводятся опытно-технологические работы по восстановлению, упрочнению и легированию рабочих поверхностей деталей, штамповой оснастки и инструментов широкой номенклатуры электроискровыми методами. Необходимость в проведении таких работ возникла из-за того, что данным способом наиболее эффективно можно восстанавливать детали с линейными износами до 0,3мм, т.е. ~ 85% изношенных деталей.

За 50 лет со времени открытия советскими учеными Лазаренко Б.Р. и Лазаренко Н.И. метода электроискровой обработки (ЭИО) металлов накоплен большой теоретический и экспериментальный материал, а также практический опыт по восстановлению, упрочнению и легированию рабочих поверхностей деталей этим способом.

Электроискровая обработка является ресурсосберегающей и относительно экологически чистой технологией, в связи с чем она получила широкое распространение в разных странах.

Использование электроискрового метода в ремонтном производстве сдерживалось по двум причинам: 1) низкая производительность; 2) толщина наносимого покрытия сплошностью выше 75% не превышала 100 мкм.

Для преодоления указанных недостатков проведена модернизация установок «Элитрон», и созданы новые установки серии «Вестрон», обладающие универсальностью, мобильностью. Кроме этого разработаны новые электрододержатели и новые электроды, которые в совокупности обеспечили нанесение покрытий до 300 мкм, а для локальных участков до 1000 мкм.

При электроискровой наплавке единичный акт переноса электродного материала на поверхность детали происходит при высокой температуре разряда (5000–11000°C). Вследствие кратковременности разряда (до 1000 мкс) и его локальности нагретые микрообъемы металла детали мгновенно охлаждаются за счет его теплопроводности. При определенных режимах ЭИО происходит сверхскоростная закалка (скорость охлаждения поверхностного слоя детали более 1000 м/с), в результате которой образуется «белый» слой высокой твердости, причем толщина его увеличивается с ростом содержания углерода в материале детали и энергии единичного импульса.

Структура «белого» слоя определяется материалом детали, электрода и газовой средой, в которой происходит обработка. Под «белым» слоем образуется «подслой» с измененной структурой основного металла. Некоторая часть металла подслоя, непосредственно граничащая с «белым» слоем содержит легирующие элементы электрода и газовой среды, концентрацией значительно меньшей, чем в «белом» слое. В большинстве случаев упрочненные слои имеют мелкое зерно (балл зерна >10), ориентированное в направлении отвода тепла.

Так, например, при нанесении бронзы БрАЖМц 10-3-1,5 на сталь 30ХГСА электроискровой наплавкой с использованием установки "Вестрон-006" (частота импульса тока 220Гц, энергия единичного импульса 2,0–4,5 Дж, амплитуда вибрации электрода до 130 мкм, разрядная емкость конденсаторов 210 мкФ) получено, что толщина покрытия ("белого" слоя) составляет 130–190 мкм с микротвердостью 2860–3070 МПа.

Микротвердость материала подложки имеет различные значения по глубине. Под покрытием обнаружен структурно-измененный слой, обусловленный термическим влиянием электроискровых разрядов. Глубина структурно-измененного слоя составляет ~220 мкм. На глубине до 45 мкм структурно-измененный слой представляет собой структуру вторичной закалки с вторичным низким отпускком, от 45 до 220 мкм можно наблюдать структуру вторичного высокого отпуска. Микротвердость вторичной закалки со вторичным низким отпускком составляет 4300–4880 МПа, микротвердость структуры высокого вторичного отпуска составляет 2960 МПа.

Экспериментальные исследования показали, что при пятикратном изгибе на  $90^\circ$  и выпрямлении на поверхности покрытия не возникают трещины, покрытие не отслаивается. Устойчивость полученной твердости против отпущка и чувствительность к многократным теплосменам достаточно высокая.

В результате электроискровой обработки в газовой среде происходит легирование поверхности детали материалами электродов и воздушной среды, образование карбидов, боридов, нитридов и интерметаллидов, закалка микроучастков, вторичное упрочнение за счет дисперсных выделений. Прочность сцепления наносимого материала с матричным материалом (30–90 МПа) обеспечивается микросплавлениями и диффузионными процессами.

Разновидности электроискровой обработки рабочих поверхностей деталей можно разделить условно на три: наплавка, легирование и упрочнение.

В условиях производства наплавка, легирование и упрочнение может проходить как единый технологический процесс и как самостоятельный, в зависимости от поставленной задачи.

Цель работы заключается в освещении накопленного экспериментального опыта ВНИИТУВИД по наплавке, легированию и упрочнению рабочих поверхностей деталей, штамповой оснастки и режущих кромок инструментов в воздушной и газовой средах под действием импульсного электрического разряда.

Средства обработки. Электроискровая обработка рабочих поверхностей деталей и режущих кромок инструментов проводится с использованием трех типов релаксационных генераторов импульса тока: резистивно-емкостного (RC), тиристорно-транзисторного (ТТ) и комбинированного (RC+ТТ), в которых электрические разряды образуются за счет энергии, накапливаемой в конденсаторах.

В RC-генераторах разность потенциалов на обкладках конденсаторов не превышает 150 В (установка "Элитрон -25М"); на ТТ-генераторах 190 В ("Вестрон-006") и на RC+ТТ- генераторах 100 В (установка "Элитрон -52БМ"), поэтому разряд энергии конденсаторов имеет контактное начало.

Результаты. В 1994–99 годах разработаны опытные технологии восстановления и упрочнения гильз цилиндров (в том числе с никосиловыми покрытиями), поршневых колец, юбок поршней, нижней головки шатуна, втулок распределителей и их опорных поверхностей, кулачков, поршневых пальцев, головок поршней, посадочных поверхностей неподвижных соединений, опорных поверхностей винтовых передач, корпусов вакуумных насосов, золотников и корпусов гидрораспределителей, корпусов и шестерен гидронасосов и масляных насосов, деталей вагонов метро, рабочих поверхностей штампов, ножей и т. д.

Совокупность проведенных работ позволяет считать, что электроискровые методы являются наиболее прогрессивными методами для ремонтного производства.

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ПОЧВОРЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИФфуЗИОННЫМ НАМОРАЖИВАНИЕМ ИЗНОСОСТОЙКИМИ СПЛАВАМИ

*Бетенья Г.Ф.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Почворежущие элементы являются изделиями массового потребления. Выпускаемые серийно почворежущие элементы относятся к быстроизнашиваемым деталям. Ресурс этих деталей, как правило, меньше наработки одного полевого сезона. Так, например, средняя наработка до предельного состояния и за один сезон соответственно составляют: для долот плугов 15 га и 40 га; для лемехов плугов 12 га и 40 га; для рыхлительных оборотных лап дизельных культиваторов 8 га и 30 га; для рыхлительных оборотных лап культиваторов (типа АКШ-6,0) 8 га и 20 га; для зубьев борон 7 га и 14 га.

В настоящее время почворежущие элементы изготавливают из среднеуглеродистых сталей. Служебные свойства таких деталей неадекватны почвенным условиям республики, особенно для обработки супесчаных и песчаных почв, засоренных гравелистыми частицами. Использование серийных почворежущих элементов при сложившихся затратах на их приобретение стало экономически неоправданным.

Ресурс почворежущих элементов в основном предопределяется износостойкостью рабочей части детали. Из-за износа изменяются ее размеры и форма, утрачиваются функциональные качества. Повышение ресурса почворежущих элементов является одной из важных проблем современного сельскохозяйственного машиностроения и ремонтного производства. Задача состоит в том, чтобы вновь осваиваемые почворежущие элементы имели ресурс в 2...4 раза выше, по сравнению с заменяемыми изделиями.

Почворежущие элементы, изготовленные из среднеуглеродистых конструкционных сталей (с содержанием углерода 0,45–0,65 %), имеют предел прочности на растяжение 400–600 МПа. Недостаточная прочность металла (требуется не менее 600–1000 МПа) является причиной поломок и деформаций изделий.

При изготовлении почворежущих элементов используют, как правило, традиционные методы упрочняющей технологии (закалку и отпуск). Как показывает практика, интенсивность изнашивания таких деталей достигает 0,3 мм/км пути. В деталях из монометалла не реализуется явление самозатачивания режущей кромки. По мере линейного износа лезвие затупляется. Вследствие этого возрастает тяговое сопротивление и расход топлива, нарушаются агротехнические требования обработки почвы. Эти аргументы свидетельствуют о бесперспективности данного подхода при изготовлении почворежущих элементов.

Абразивное изнашивание является одной из основных причин потери работоспособности почворежущих элементов. Процесс абразивного изнашивания почворежущих элементов изменяется в зависимости от условий работы. Он может переходить от более интенсивных (микрорезание, микропарапание, хрупкое разрушение) к менее интенсивным (одно- или многократное деформирование, коррозионно-механическое разрушение) формам абразивного изнашивания и наоборот. Износ почворежущих элементов – процесс неизбежный. Установлено, что интенсивность изнашивания почворежущих элементов предопределяется способностью материала рабочей части детали противостоять микрорезанию, микропарапанию кварцевыми частицами и хрупкому разрушению.

Решение этой научно-технической проблемы требует комплексного подхода на основе учета конструкторских, технологических, материаловедческих, триботехнических и эксплуатационных факторов.

Изучено влияние условий эксплуатации на изнашивание почворежущих элементов. При этом учитывалось давление на рабочую поверхность (МПа), скорость относительного перемещения (м/с), изнашивающая способность абразивной массы (сравнительная), твердость почв (МПа), влажность почв (%). Изучались также износостойкость и механизм абразивного изнашивания однородных металлов и многофазных сплавов различных по химическому составу и структуре. Уточнены марки сталей, которые используются отечественными предприятиями и зарубежными фирмами для изготовления почворежущих элементов. Систематизированы сведения о физико-механических свойствах этих сталей: структуре, твердости (HRC, HB), пределе прочности на растяжение (МПа), относительном удлинении (%), ударной вязкости (кДж/м<sup>2</sup>), температуре закалки (K) и отпуска (K), относительной износостойкости (E) по сравнению с эталоном (сталь 45 в отожженном состоянии). Изучено применение аустенитной стали 110Г13Л для изготовления почворежущих элементов.

Анализ многолетнего опыта производства и использования серийных почворежущих элементов показал, что из-за сложности формы, переменного сечения рабочей части, необходимости массового изготовления традиционные методы упрочняющей технологии либо неприемлемы (индукционная наплавка), либо являются малоэффективными (термическая обработка).

Выполненный комплекс теоретических и экспериментальных исследований позволил разработать конкретные рекомендации повышения ресурса почворежущих элементов упрочнением и восстановлением их режущей части, используя диффузионное намораживание износостойкими сплавами.

Технология диффузионного намораживания почворежущих элементов (конструкции БАТУ) впервые разработана кафедрой ремонта машин Белорусского аграрного технического университета.

Упрочнению и восстановлению подлежат долота и лемехи плугов, зубья культиваторов, борон и другие детали, работающие в абразивной среде.

В Белорусском аграрном техническом университете разработаны технические решения повышения ресурса почворежущих элементов путем получения биметаллической режущей части этих деталей диффузионным намо­раживанием износостойкими сплавами. Ресурс почворежущих элементов такой конструкции повышается не менее, чем в 2–4 раза. Для изготовления де­талей с биметаллической режущей частью расход износостойкого сплава со­ставляет от 3 до 15 процентов по отношению к исходной массе заготовки. Денежные затраты при этом не превышают 25–30 процентов стоимости се­рийно изготавливаемых изделий. Почворежущие элементы конструкции БАТУ являются результатом многолетнего опыта, постоянной готовности к новаци­ям, ноу-хау, поиска современных износостойких материалов и методов про­изводства, обеспечения высокого качества продукции.

Применение способа диффузионного намо­раживания позволяет рационально использовать свойства материалов основы заготовки и наращивае­мого износостойкого покрытия. Разработанные варианты диффузионного намо­раживания отличаются температурно-временными режимами процесса, характером подготовки соединяемых материалов, составом защитных сред и покрытий. В каждом конкретном случае выбор технологических режимов осуществляется с учетом химического состава основного и присадочного материалов, соотношением толщины основы и наращиваемого слоя.

Разработанные технологические процессы упрочнения и восстановле­ния почворежущих элементов с применением диффузионного намо­ражива­ния включают следующие операции: плавку присадочного сплава; плавку флюса; активацию наращиваемой поверхности заготовки; диффузионное на­мо­раживание режущей части изделия; охлаждение изделия; контроль каче­ства изделия.

Для плавки присадочного сплава рекомендуется применять индукци­онные сталеплавильные тигельные установки типа ИСТ-0.06 или ИСТ-0.16. Плавка флюса осуществляется в электрической печи сопротивления в тиглях из жаростойкого чугуна. Высокое качество очистки наращиваемой стальной поверхности достигается при применении флюса, состоящего из 40 мас. ч. буры и 60 мас. ч. борного ангидрида.

Предварительный индукционный нагрев наращиваемой поверхности при ее активации ведется в индукторе высокочастотной установки типа ИЗ 4-100/10. Температура предварительного нагрева заготовки составляет 1123–1223 К. Затем производится активация наращиваемой поверхности расплавленным флюсом. Профлюсованная заготовка подвергается диффузионному намо­раживанию. Охлаждение изделий, как правило, производят на воздухе.

Контроль качества изделия осуществляется измерением толщины слоя износостойкого покрытия, определением дефектов и физико-механических свойств. Применяемые износостойкие материалы характеризуются следующими показателями физико-механических свойств: твердость не менее 50 НРС; ударная вязкость 50 -75 кДж/м<sup>2</sup>; относительная износостойкость по сравнению с эталоном (сталь 45) 3–6; прочность сцепления в биметалле (основа – износостойкое покрытие) ограничивается пределом прочности присадочного сплава на растяжение и составляет не менее 200–220 МПа.

Использование технологии диффузионного намораживания в производственных условиях республики позволит сократить не менее, чем в 2–4 раза расход металла на изготовление почворезущих элементов. Технический уровень технологии диффузионного намораживания превосходит по основным факторам (производительности, экономичности и качеству) широко применяемые индукционную, дуговую точечную, плазменную и наплавку в среде защитных газов и флюсов. Затраты на производство почворезущих элементов с применением диффузионного намораживания износостойкими сплавами окупаются в месячный срок.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ**

*Капцевич В.М., Кожуро Д.Л.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
газета "Компьютерные Вести"*

Современные условия функционирования ремонтных предприятий Минсельхозпрода РБ предопределяют необходимость принятия решений, связанных с применением оптимальных технологий ремонта деталей сельскохозяйственной техники с учетом ограничений сырьевой базы в стране. Очевидно, что при отсутствии запасных частей, восстановление деталей является вынужденной мерой. Однако последнее – экономически целесообразно, так как восстановление и упрочнение деталей – основа ресурсо- и энергосбережения в народном хозяйстве.

В настоящее время при восстановлении и упрочнении деталей применяются различные технологические процессы. Многообразие их объясняется тем, что ни один из них не может претендовать на универсальность. Это связано с разнообразием видов изнашивания и условий работы машин, что обуславливает необходимость разработки новых прогрессивных процессов восстановления и упрочнения изделий.

Для восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники весьма перспективными являются электрофизические методы, основан-

ные на использовании концентрированных потоков энергии. Электромагнитная наплавка (ЭМН) легирующих порошков на железной основе импульсами электрических разрядов в магнитном поле является одним из них.

Метод разработан белорусскими учеными, однако, из-за недостаточной изученности, он еще не нашел широкого применения в ремонтном и машиностроительном производствах, в связи с чем в настоящее время глубоко исследуется на кафедре технологии металлов БАТУ.

В зависимости от режима наплавки и химического состава порошка процесс позволяет получать покрытия толщиной до 0,5 мм или до 1 мм на диаметр, твердостью до 64 HRC, пористостью до 10% и шероховатостью поверхности наплавки по параметру Ra = 25–32 мкм.

Процесс ЭМН состоит из 4-х фаз: 1 – формирование многоэлектродной системы из зерен ферропорошка в рабочей зоне; 2 – генерация и развитие электрического разряда, плавление порошка; 3 – перенос капель расплава порошка на обрабатываемую поверхность; 4 – взаимодействие наплавляемого материала с основой, формирование покрытия. Каждая из фаз характеризуется своими входными и выходными параметрами и определяется физическими процессами и конструктивными особенностями исполнительных механизмов.

В результате ЭМН на обрабатываемой поверхности образуется упрочненный слой, состоящий из покрытия со структурой литого металла, диффузионного переходного слоя и зоны термического влияния, представляющей термоупрочненную часть основы.

Покрытия при ЭМН формируются в условиях сверхбыстрого охлаждения расплавленных порошковых частиц, имеют гетерогенную структуру, состоящую в основном из пересыщенных твердых растворов легирующих элементов порошка в  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железе. Выявлено, что в наплавленном слое формирование текстуры в сочетании с повышенной плотностью дефектов кристаллического строения основных фаз, дисперсных равномерно распределенных карбидов и интерметаллидов происходит в процессе закалки из жидкого состояния.

Перспективна ЭМН с поверхностным пластическим деформированием (ЭМН с ППД). Повышается плотность и однородность покрытия, увеличивается в 1,3–3 раза толщина упрочненного слоя за счет расширения зоны термического влияния.

Установлено, что покрытия из порошков P6M5F3; Fe-V; C-300 имеют максимальную микротвердость. Следует отметить, что за счет ППД микротвердость повышается в связи с переходом остаточного аустенита в мартенсит и частичным распадом последнего с выделением дисперсных карбидов.

Проведенные исследования показали, что износостойкость покрытий, полученных ЭМН, зависит от режима наплавки и химического состава мате-

риала порошка. Износостойкость покрытий, полученных ЭМН с ППД, на 20–30% выше износостойкости покрытий, полученных только наплавкой. Наибольшей износостойкостью обладают покрытия из порошков типа Р6М5К5; С-300, износостойкость которых в 1,7–2 раза больше для ЭМН и в 2–2,6 раза – для ЭМН с ППД по сравнению с эталоном (сталь 45 нормализованная и закаленная с нагрева ТВЧ на глубину 1,2–1,6 мм до 52–54 HRC).

Известно, что валы и оси в большинстве случаев лимитируют ресурс узлов и агрегатов сельскохозяйственной техники. Коэффициент их восстановления при капитальном ремонте машин составляет 0,25–0,90. У валов наиболее часто дефекты проявляются на посадочных поверхностях. Поверхности под подшипники восстанавливают при износе более 0,017–0,06 мм; поверхности неподвижных соединений (места под ступицы со шпоночными пазами) – при износе более 0,04–0,13 мм; поверхности под уплотнения – при износе более 0,15–0,20 мм. Из всей совокупности восстанавливаемых поверхностей валов и осей 46% изнашивается до 0,3 мм. Поэтому для восстановления валов и осей эффективно применять ЭМН и ЭМН с ППД.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований, проект Т96-105.

## **ОСНОВЫ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

*Иванов В.П.*

*ОАО Полоцкий завод "Проммашремонт"*

Основной источник экономической эффективности капитального ремонта машин заключается в восстановлении изношенных деталей за счет использования их доремонтных форм и материалов.

Суть восстановления изношенных деталей состоит в возвращении им утраченной части материала из-за изнашивания и значений свойств, изменившихся за время эксплуатации. К таким свойствам относятся твердость и износостойкость трущихся поверхностей, сплошность материала, форма, размеры, взаимное расположение и шероховатость рабочих поверхностей, усталостная прочность, жесткость и распределение массы детали относительно оси вращения. Многократно повторяющийся процесс восстановления детали должен быть построен оптимальным образом по критерию расхода производственных ресурсов (материальных, трудовых и энергетических) при учете установленных ограничений по производительности и качеству.

Изношенная деталь ремонтного фонда на пути своего превращения в годную деталь в результате технологических воздействий на нее исполните-

лей и средств ремонта пребывает в состояниях исходной и ремонтной заготовок и восстановленной детали.

Исходная заготовка в общем случае превращается в ремонтную заготовку путем создания припусков на восстанавливаемых поверхностях, а ремонтная заготовка в деталь – в результате механической и химико-термической обработки. Основные типы технологических операций на этом пути следующие: предварительная механическая обработка, создание припусков на восстанавливаемых поверхностях, термическая обработка, черновая механическая обработка, термическая или химико-термическая обработка, чистовая механическая обработка, поверхностное пластическое деформирование, отделочная механическая обработка, очистка от технологических загрязнений, контроль и консервация. Технологические операции указанных типов выполняются на любом ремонтном предприятии, однако, число освоенных видов операций каждого типа зависит от мощности и технического уровня отдельного завода. Виды однотипных технологических операций устанавливаются на основании производственного опыта, научных рекомендаций и современных представлений о способах преобразования энергии, материалов и информации.

Задачу проектирования технологического процесса восстановления детали решают путем структурного оптимизационного синтеза из множества составляющих операций. Решение основано на построении классификаций различных операций технологического процесса восстановления детали без пропусков и повторений и поиска такого связного подмножества разнотипных технологических операций, которое составляет процесс восстановления как целое и обеспечивает установленные ограничения с наименьшими затратами.

Техническое решение, положенное в основу процесса восстановления детали, определяется из графа, множество вершин которого соответствует множеству составляющих операций, а множество дуг связям между последующими и предыдущими операциями. Длину каждой дуги графа определяют как затраты на подготовку и выполнение последующей операции, отнесенные к восстановлению одной детали. Связное подмножество вершин, взятых по одной из каждого ряда графа, определяет один вариант технологического процесса. Среди рассмотренных вариантов процесса может оказаться патентоохранное решение, отличающееся новым сочетанием технологических признаков. Оптимальный состав операций технологического процесса соответствует кратчайшему пути между вершинами крайних ярусов графа. Этот путь можно определить целочисленными методами, например, с помощью принципа оптимальности Р. Беллмана, используя свойство аддитивности целевой функции по составляющим частям процесса. Полученное решение оптимально для конкретного производства.

Обоснованность принятых решений необходимо периодически уточнять. Это связано с изменением соотношения расхода производственных ресурсов и затрат на их приобретение. Применимость способов восстановления деталей коррелирует со структурой себестоимости процесса. Наиболее важные статьи расхода средств связаны с приобретением материалов, расчетом за электроэнергию и заработной платой. В структуре себестоимости восстановления деталей наибольшая доля затрат приходится на материалы и энергию, которые существенно превышают трудовые затраты. В настоящее время наиболее дорогими материалами являются металлические порошки и шнуры для нанесения покрытий, поэтому в производстве применяют трудоемкие способы с малой стоимостью используемых материалов. Эти способы основаны на применении дополнительных ремонтных деталей (ДРД) из конструкционной стали и силумина и пластического деформирования материала без расхода материала. Стальные ДРД перед установкой и закреплением проходят термическую обработку для повышения износостойкости. Наибольшее число изобретений за последние годы на тему восстановления деталей (МКИ В23 Р6/00) приходится на применение ДРД. Способы восстановления деталей, связанные с нанесением газотермических покрытий из самофлюсующихся порошков и шнуровых материалов, станут конкурентоспособными при существенном снижении их цены. Актуальны работы, которые исследуют возможность послойного синтеза покрытий с градиентом значений их свойств по толщине покрытия.

Новый подход к проблеме создания системы средств ремонта включает определение полного множества технологических воздействий на пути превращения ремонтного фонда в товарные изделия, классификацию этого множества, разработку для каждого типа воздействий рядов исполнительных агрегатов и компонование из этих агрегатов технологических машин.

Множество исполнительных агрегатов в количестве нескольких тысяч единиц может быть сведено примерно к тридцати группам разнофункциональных устройств. Этот важный вывод о структуре технологических машин позволяет сосредоточить основные проектные работы на разработке небольшой номенклатуры исполнительных агрегатов и их рядов, из которых могут быть скомпонованы различные машины.

Решение задач структурно-параметрического синтеза частей технологических машин базируется на графовом представлении возможных вариантов структуры агрегата и множества значений его главного параметра и поиска оптимальной структуры агрегата и подмножества значений главного параметра, обращающих в минимум значения функции затрат.

Разработана система базовых исполнительных агрегатов (модулей) и типоразмерных рядов из них для выполнения функций перемещения, ори-

ентирования, базирования и закрепления деталей, приложения сил и моментов при разборке и сборке, регенерации очищающих сред, придания энергии активации очищающей среде при погружной очистке объектов, измерения параметров, определения течей и испытания агрегатов. Названные устройства применяют для выполнения 80–90% множества технологических переходов. Компонование технологической машины из агрегатов основано на выборе ее варианта с позиций минимальной длительности технологического цикла.

## **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОКОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ**

*Подлекарев Н.Н.*

*Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия*

Эффективным методом повышения износостойкости сталей при коррозионно-механическом изнашивании является поверхностное легирование путем химико-термической обработки.

Из большого количества различных элементов, которые могут образовывать диффузионные покрытия, для наших исследований были выбраны хром и бор. Во-первых, хромированные и борированные диффузионные покрытия обладают высокой абразивной и коррозионной стойкостью. Во-вторых, процессы диффузионного хромирования и борирования получили относительно широкое распространение. Термодиффузионное хромирование и борирование сталей Ст.3, Ст.5, 45 производилось твердым способом.

Состав насыщающей смеси для хромирования (в процентах от массы): 30 – окиси алюминия, 52 – окиси хрома и 18 – алюминиевого порошка. Для активизации процесса диффузионного насыщения добавляли 2% по отношению ко всей массе хлористого аммония. Продолжительность процесса 8 ч., температура 1050°C.

Износостойкость упрочненных сталей исследовали при трении в массе минеральных удобрений на установке типа "крыльчатка".

Как видно из таблицы, износостойкость как борированных, так и особенно хромированных сталей значительно выше сталей неупрочненных и закаленных. При этом износостойкость хромированных сталей приблизительно равна износостойкости нержавеющей стали X18H9T, и коррозионный фактор приближается к нулю.

Несколько меньшая износостойкость борированных сталей по сравнению с хромированными объясняется тем, что на поверхности борированного слоя образуется сетка микротрещин, которые в процессе трения расклиниваются и через них проникает коррозионная среда к основному металлу.

Проведены эксплуатационные испытания лопаток разбрасывающих дисков разбрасывателя минеральных удобрений 1РМГ – 4, упрочненных термодиффузионным хромированием. После 760 ч. работы (внесено 7220 т удобрений) износ лопаток не зафиксирован.

*Скорость изнашивания, мк/ч, сталей, упрочненных термодиффузионным хромированием и борированием, при трении в минеральных удобрениях*

Марка стали и вид удобрения	Фосфорная мука, Влажность 9%			Сульфат аммония, Влажность 4%		
	Непрерывное трение	Прерывистое трение		Непрерывное трение	Прерывистое трение	
45 неупрочненная	21,2	22,9	0,08	17,4	138,7	6,96
45 хромированная	0,3	0,3	0,00	0,2	0,2	0,00
45 борированная	3,5	3,4	0,10	2,3	40,3	16,50
Ст. 3 хромированная	0,5	0,5	0,00	0,3	0,3	0,00
Ст. 3 борированная	3,2	3,5	0,10	2,4	38,8	15,18
Ст. 5 хромированная	0,4	0,4	0,00	0,2	0,2	0,00
Ст. 5 борированная	4,5	4,9	0,09	1,9	26,0	12,69
45 закаленная	15,2	17,1	0,12	19,2	173,0	8,02
X18H9T неупрочненная	0,4	0,4	0,00	0,3	0,3	0,00

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Крез А.И., Макаревич Д.М.*

*Могилевский машиностроительный институт*

Процесс восстановления изношенных деталей, по числу технологических операций, в 5–8 раз короче процесса их изготовления, и это, наряду с экономией материала, уменьшает их стоимость на 40–80%. Поэтому использование при ремонте топливной аппаратуры дизельных двигателей реставрированных плунжерных пар существенно экономит отводимые на эти цели средства.

По заводской технологии, последней операцией техпроцесса изготовления плунжерных пар является их селективная сборка. Пары собираются с задором, не превышающим 3 мкм, при том, что сами детали изготавливаются с разбросом диаметральных размеров в несколько сотых миллиметра. В этой связи, в основу технологии восстановления работоспособности плунжерных пар положена новая селективная сборка групп деталей одного типоразмера. Пары собираются после восстановления цилиндричности их изношенных поверхностей. Часть деталей собирается непосредственно после механической обработки, а на те детали, которые выпадают из допуска, позволяющего новую селекцию, наносится слой износостойкого материала, и они снова подвергаются отделочно-абразивной обработке.

Реализация названной технологии потребовала создания целого ряда специальных инструментов, технологической оснастки и контрольно-измерительных приспособлений. Контроль качества восстановленных плунжерных пар осуществляется на специально изготовленном стенде.

## **К ВОПРОСУ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**

*Третьяк М.С., Чупрасов В.В., Присмотров А.А., Лупсякова О.Ф.  
Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова*

Все отрасли народного хозяйства с массовым применением современных машин испытывают огромную потребность в запасных частях к ним. Так, например, только автобусов "Икарус" в автохозяйствах Беларуси насчитывается около 3000. Из-за высоких цен на новую технику и неудовлетворительного финансового положения в республике поступление новых машин для замены выбракованных резко сократилось. Поэтому доля находящейся в эксплуатации отремонтированной техники ежегодно увеличивается и составляет на данный момент примерно 90%. В этих условиях резко возрастает потребность в запасных частях, которая удовлетворяется промышленностью и закупками за рубежом примерно на 40–60%. В то же время на изготовление запчастей для автомобилей приходится примерно 40%, а для тракторов – примерно 50% металла, расходуемого на производство этой техники.

В связи с этим важным резервом повышения эффективности использования техники является восстановление изношенных деталей. Следует отметить, что из поступающих на восстановление деталей примерно 65% имеют износ рабочих поверхностей примерно 0,15 мм и 30% – от 0,15 до 0,5 мм. Это относится и к коленчатым валам (КВ) двигателей, одной из наиболее дорогостоящих деталей.

В настоящее время разработаны многочисленные способы их восстановления в зависимости от условий эксплуатации. Работы в данном направ-

лении проводятся в ряде институтов Академии наук и других организаций. Однако наименее разработанными являются вопросы восстановления крупногабаритных и, как правило, наиболее дорогостоящих изделий, например, КВ дизельных двигателей типа СМД-60, СМД-62, ЯМЗ-236 и других. Связано это с тем, что такие изделия при нагреве (сварочно-наплавочные технологии) деформируются, появляются трещины из-за термических напряжений.

В Академическом научном комплексе "Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова" НАНБ разработана технология восстановления КВ тяжело-нагруженных двигателей методом электродуговой металлизации. Для этого создан экспериментальный стенд, на котором проводятся научные исследования и отрабатываются технологические режимы.

Основой установки является электродуговой металлизатор, разработанный в Институте надежности и долговечности машин НАНБ и модернизированный для решения наших задач.

В процессе выполнения работы проведены исследования гранулометрического состава распыляемых частиц, структуры, пористости, твердости, износостойкости, коррозионной стойкости, адгезии и когезии напыленных покрытий различными присадочными материалами (сплошные и порошковые проволоки).

В результате выполнения работы выбраны присадочные материалы и режимы напыления, позволяющие получать покрытия твердостью до 48 НРС, пористостью – 4–5%, с адгезионной прочностью – до 70 МПа, когезионной – до 170 МПа, что обеспечивает при соблюдении правил эксплуатации и ремонта ресурс работы восстановленных изделий примерно 0,7 новых при стоимости восстановления примерно 25–30% от стоимости новых изделий. Так, например, за 2,5 года на Витебском МРЗ по нашей технологии восстановлено 352 КВ двигателей Д-240 и 48 КВ – СМД-31А. На 01.06.98 г. стоимость нового КВ Д-240 составляла 6,9 млн. руб., восстановленного – 3,4 млн. руб.; для двигателей СМД-31А стоимость нового – 23 млн. руб., восстановленного – 4,63 млн. руб.

В настоящее время по разработанной нами технологии только в АНК ИТМО НАНБ восстановлено более 800 КВ двигателей "РАБА-МАН", около 150 КВ двигателей 6VD, 4VD, Д-21, Д-37 и других, что позволило снизить закупки за рубежом.

В заключение необходимо отметить, что дальнейшие исследования будут осуществляться в направлении усовершенствования технологии, расширения номенклатуры и повышения эксплуатационных характеристик восстановленных изделий.

# К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ И РЕСУРСА РАБОТЫ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Кобяк Ю.Г.

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Большинство машин ( порядка 80–90%) выходит из строя по причине износа деталей. Значительную часть из них составляют детали трения подвижных сопряжений. Проблема восстановления пар трения стоит уже давно. Однако предлагаемые технологические и конструкторские решения не позволяют в достаточной мере повысить как доремонтный, так и послеремонтный ресурс их работы. За рубежом и в нашей республике эта проблема на данный момент практически не решена. Рост количества заинтересованных ремонтных предприятий-потребителей привел к необходимости поиска путей решения данного вопроса.

В данной работе представлены результаты анализа существующих методов повышения ресурса работы подвижных сопряжений, а также предложены концептуальные направления по решению рассматриваемой проблемы.

На основании имеющихся данных определены следующие возможности для увеличения срока службы деталей трения: оптимизация конструктивных решений узлов трения; технологические методы; эксплуатационные мероприятия.

Для предлагаемого исследования наибольший интерес будут представлять технологические методы, как обеспечивающие максимальное соответствие между надежностью и долговечностью работы, а также стоимостью этих работ.

Установлено, что фактором, определяющим качество эксплуатации, надежность и долговечность работы, является состав наносимого материала, в частности, его физико-механические свойства. Поэтому при выборе материала необходимо руководствоваться удельными давлениями в зоне контакта, скоростями скольжения и рядом других параметров. Выбор материалов представляет многофакторную задачу, т.к. зависит от конструкции и назначения узла, условий эксплуатации, требований к сроку службы и надежности. Проведенный анализ показал, что наибольший интерес представляют порошковые антифрикционные материалы (композиты) ввиду их технологичности и широкого диапазона характеристик.

Даются рекомендации по выбору полимерной матрицы, показаны преимущества и недостатки различных материалов. В качестве способа для разрешения указанных выше недостатков полимеров предлагается производить модификацию путем введения в полимерную матрицу различных наполните-

лей, которые радикально меняют свойства композиции. В частности, использование дисперсно-упрочненных композиционных материалов, получаемых механическим смешением различных компонентов. Работы ряда авторов показали, что в этом направлении открываются широкие возможности для достижения требуемых свойств.

Разработаны рекомендации по улучшению триботехнических характеристик композитов. Так, в качестве материалов, вводимых в композицию, могут использоваться металлические порошки, карбиды металлов, аморфные составляющие. Введение металлических компонентов в состав покрытия позволит решить следующие задачи: резко повысить теплопроводность покрытия, тем самым уменьшить температуру в приповерхностных слоях; упрочнить покрытие, придав материалу большую твердость и способность сопротивляться возникающим динамическим нагрузкам; увеличить рабочую температуру покрытия; уменьшить коэффициент трения, улучшить термостабильность, позволяя при этом получить более качественную микроструктуру полимера.

Предполагается исследование влияния состава композиционного порошка на технологичность нанесения покрытий, а также на физико-механические свойства.

Успехи в разработке физической стороны процесса трения, привлечение современных методов эксперимента и опытное изучение трения, тщательное физико-химическое исследование природы поверхностных слоев и большой экспериментальный материал позволит глубже познать механизм трения и изнашивания, а также предложить пути по дальнейшему увеличению срока службы, а значит и надежности работы как узла, так и механизма в целом. Поэтому только при учете вышеизложенных причин и факторов возможно создание принципиально нового материала с уникальными свойствами, который найдет свое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства.

## **ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

*Кашицин Л.П., Худолей А.Л., Сосновский И.А., Клименко С.Е.  
Институт надежности машин НАНБ*

Разработаны технология и оборудование для нанесения покрытий на внутренние и торцовые поверхности деталей при их восстановлении или изготовлении. Согласно предлагаемой технологии, взамен цельнометаллических деталей получают биметаллические преимущественно из материалов бронза-бронза и сталь-бронза.

Сущность технологии нанесения покрытий на заготовки с целью получения биметаллических изделий центробежным индукционным методом заключается в следующем. Один из торцев заготовки закрывается специальной крышкой, во внутреннюю полость заготовки засыпается шихта и закрывается второй торец. При этом между торцами заготовок и крышек устанавливают антипригарные прокладки. Данную сборку позиционируют относительно рабочей части наружного индуктора ТВЧ высокочастотного генератора и зажимают сборку в центрах установки. Затем деталь приводят во вращение со скоростью 800–2000 об/мин в зависимости от внутреннего радиуса заготовки и включают нагрев ТВЧ. При достижении требуемой температуры, которая контролируется бесконтактно с помощью оптического пирометра, нагрев сборки отключают и продолжают вращать ее, охлаждая до 300–500°С. После чего прекращают вращение. Снимают сборку с установки и далее охлаждают ее в статическом состоянии до комнатной температуры. Затем осуществляют необходимую механическую обработку полученной заготовки.

Пост центробежного индукционного нанесения покрытий включает в себя: генератор токов высокой частоты типа ЛПЗ, ВЧГ (рабочая частота 66 кГц и мощность 60, 100 кВт), установку центробежного нанесения покрытий типа ДЯФ 3,025 (производства ИНДМАШ НАНБ) с пультом управления; силовой шкаф, стол-верстак для подготовки заготовок к нанесению покрытий, шкаф-стеллаж для вспомогательных материалов и оснастки, контейнеры для складирования и хранения заготовок и готовых изделий, емкость для приготовления порошковых шихт, весы и другое вспомогательное оборудование. Для реализации технологического процесса к посту необходимо обеспечить подвод воды и электроэнергии.

Перечень восстанавливаемых и изготавливаемых деталей по данной технологии: втулки маховика гасителя, поворотного кулака, шкворня, цапфы; вкладыши и синхронизаторы и т.д.

Размеры изделий: наружный диаметр от 10 до 280 мм, внутренний диаметр от 4 до 260 мм, толщина стенки стальной заготовки до 80 мм, длина до 300 мм, толщина наносимого покрытия от 0,5 до 50 мм, твердость антифрикционных покрытий от 27 до 120 НВ.

Восстановление деталей покрытиями позволяет экономить цветные сплавы до 95%, уменьшает стоимость изделий в 1,5–25 раз и улучшает эксплуатационные характеристики деталей.

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛИ МЕТОДОМ ОДНОВРЕМЕННОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ РАЗНОЙ ТВЕРДОСТИ НА РАЗЛИЧНЫЕ ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ

*Гафо Ю.Н., Широкий И.В., Сосновский А.В.  
НПО "Транстехника", ИНДМАШ НАНБ*

В современном машиностроении существует широкая номенклатура деталей, износ которых происходит по различным поверхностям и с различной интенсивностью. В связи с этим необходимо упрочнять и восстанавливать различные поверхности детали материалами разной твердости.

Существующие методы и технологии получения покрытий позволяют наносить износостойкие слои только по очереди на каждую поверхность. Это обстоятельство приводит к многократному нагреву материала детали и покрытия, что приводит к снижению их твердости и износостойкости.

В ИНДМАШ НАНБ разработана технология, позволяющая одновременное нанесение покрытий различной твердости на разные поверхности одной детали. Данная технология реализуется на оборудовании для электроконтактной сварки. Сущность технологии состоит в том, что на поверхности детали, которую следует восстановить или упрочнить, свободно насыпается наплавляемый порошок и прижимается электродами электроконтактной машины. Затем деталь разогревается импульсным током 10–20 кА в течение нескольких секунд до температуры выше температуры плавления порошка, но ниже температуры плавления детали. После отключения источника тока, поверхности детали с покрытием быстро охлаждаются за счет теплоотвода в электрод и деталь.

Данная технология применялась для нанесения покрытий на толкатель клапана двигателя внутреннего сгорания.

Толкатель клапана имеет две поверхности, которые необходимо восстановить или упрочнить. С использованием вышеизложенной технологии осуществлялось нанесение покрытия одновременно на две поверхности разными порошковыми материалами, которые после обработки имели твердость соответственно HRC=42 и HRC=65.

Можно выделить следующие преимущества данной технологии. Кратковременность процесса нагрева, локальное упрочнение или восстановление поверхностей детали, исключаящее разупрочнение всей детали, нанесение покрытий без использования защитной атмосферы, возможность автоматизации процесса при серийном восстановлении или восстановлении или изготовлении деталей, наносимые порошковые материалы не ограничиваются фракцией, композиционным составом, допускается использование смесей

металлических порошков с неметаллическими включениями типа карбидов, боридов, оксидов. При этом возможно использование разработанных порошковых материалов на основе недефицитных самофлюсующихся сплавов на основе железа, позволяющих за счет изменения компонентов шихты менять твердость покрытий одной детали в диапазоне от 40 до 65 HRC.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

*Косяк Л.Н., Кухта С.В., Хейфец М.Л.  
Полоцкий государственный университет*

Внедрение всеобщего управления качеством требует с высокой эффективностью использовать статистические методы контроля, наиболее широкое применение среди которых нашли: контрольный листок, гистограмма, диаграмма рассеяния (или поле корреляции), расслоение (или стратификация), диаграмма Парето, диаграмма "причины-результат" и контрольная карта.

Для изучения путей управления технологическим процессом рассматривался комбинированный метод обработки, электромагнитная наплавка (ЭМН) с поверхностным пластическим деформированием (ППД), обеспечивающая не только формирование поверхности детали с улучшенными геометрическими параметрами, но и упрочнение поверхностного слоя. Исследовались зависимости регламентируемых параметров обработки – эксплуатационного:  $Y_1 = \epsilon$  – относительной износостойкости; физико-механического:  $Y_2 = \text{HRC}_\epsilon$  – твердости; геометрического:  $Y_3 = \text{Ra}$  – шероховатости; производительности обработки:  $Y_4 = Q$  – весового приращения покрытия от основных технологических факторов: усилия деформирования –  $X_1 = P$ , подачи инструмента –  $X_2 = S$ , силы разрядного тока –  $X_3 = I$ , скорости вращения детали  $X_4 = V$  и магнитной индукции в рабочем зазоре –  $X_5 = B$ .

Диаграммы рассеяния параметров  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  показали отсутствие их линейной корреляции с технологическими факторами  $X_1, \dots, X_5$ , а результаты расслоения гистограмм  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  по факторам не позволили существенно снизить дисперсию, что указало на тесную взаимосвязь  $X_1, \dots, X_5$ . Поэтому в качестве статистической модели обработки применялись квадратичные функции, а для их построения и оценивания использовался дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ. Уравнения квадратичной регрессии  $Y_i = f(X)$  получали с помощью математического планирования экспериментов, для которого вследствие существенной нелинейности  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  и тесной корреляции  $X_1, \dots, X_5$  применяли центральный композиционный рототабельный униформ-план второго порядка.

Анализ линейных членов полученных математических моделей по диаграммам Парето позволил выявить степень влияния факторов на исследуемые параметры. Изучение членов, описывающих взаимодействие факторов на многоугольнике предпочтений, дало возможность определить значимость взаимной корреляции факторов по кривым Лоренца, в которых,  $X_1, \dots, X_5$  ранжируются по возрастанию. Для управления процессом целесообразно использовать наиболее влиятельные и наименее коррелированные с другими факторы. Так для управления параметрами  $Y_1, Y_2, Y_3$  наилучшим образом подходят факторы  $X_3$  и  $X_1$ , а также может использоваться  $X_5$ , а для  $Y_4$  подходят  $X_2$ , затем  $X_4$  и может применяться  $X_5$ . Это полностью согласуется с результатами, полученными при детальном анализе физических процессов ЭМН с ППД. Эксплуатационным  $Y_1 = \epsilon$  и технологическими  $Y_2 = HRC_3$ ,  $Y_3 = Ra$  параметрами наиболее рационально управлять с помощью термомеханических факторов  $X_3 = I$ ,  $X_1 = P$ , а электромагнитные воздействия регулировать индукцией поля  $X_5 = B$ . Производительность  $Y_4 = Q$  в первую очередь определяется движениями подачи  $X_2 = S$ , затем скорости детали  $X_4 = V$ , а расход наплавочного порошка регулируется магнитной индукцией  $X_5 = B$ .

Факторы  $X_2 = S$  и  $X_4 = V$ , определяющие производительность  $Y_4 = Q$  с малой корреляцией слабо влияют на твердость  $Y_2 = HRC_3$ , для шероховатости  $Y_3 = Ra$  их влияние и корреляция возрастают, а при переходе к производительности  $Y_4 = Q$  с ростом влияния корреляция падает.

Для комплексной оптимизации параметров качества технологического процесса использовалась диаграмма "причины-результат", для которой в качестве цели рассматривали обобщенную функцию желательности Харрингтона. Для желательностей предлагались шкалы, составленные исходя из значимости параметров  $Y_1, \dots, Y_4$  и рассмотренных на диаграмме "причины-результат" возможностей их регулирования технологическими факторами  $X_1, \dots, X_5$ .

Оптимизация технологических факторов  $X_1, \dots, X_5$  показала, что отличия оптимальных режимов для комплекса параметров и параметра  $Y_4 = Q$  малы, а параметров  $Y_2 = HRC_3$  и  $Y_3 = Ra$  невелики для определяющих факторов  $X_3 = I$ ,  $X_1 = P$  и  $X_5 = B$ .

Таким образом, для управления технологическим процессом ЭМН с ППД можно рекомендовать регулирование производительности  $Y_4 = Q$  и статистический контроль технологических параметров  $Y_2 = HRC_3$  и  $Y_3 = Ra$  с помощью контрольных карт.

## **ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

*Ефремов В.И., Хилько Д.Н., Реляво А.Е.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Начиная с 1960 г. на кафедре "Технология металлов" БАТУ проводятся глубокие исследования по влиянию ультразвуковых колебаний на фазовые превращения в металлах и сплавах. Начало этим исследованиям было положено заведующим кафедрой "Технология металлов" академиком АН БССР Коноваловым Е.Г. и доцентом кафедры Ефремовым В.И. при непосредственном участии первого ректора БИМСХ доктора технических наук, профессора Суслова В.П. На кафедре создана лаборатория и необходимая научная база для выполнения комплексных исследований влияния ультразвука на фазовые превращения в металлах и сплавах. Совместно с ФТИ АН БССР при участии академиков Северденко В.П., Горева К.В. и Клубовича В.В. на кафедре проводились исследования по следующим направлениям: влияние ультразвука на механические свойства сплавов в твердом состоянии; снятие ультразвуком остаточных напряжений после механической обработки; влияние ультразвука на кинетику упорядочения твердых растворов; влияние ультразвука на термическую обработку сплавов; разработка метода определения механических свойств материалов при циклическом нагружении с помощью ультразвука и др.

В настоящее время на кафедре "Технология металлов" БАТУ исследуется применение ультразвука при электромагнитной наплавке (ЭМН) с целью повышения износостойкости деталей сельскохозяйственной техники. Исследования проводятся на установке, включающей в себя наплавочный модуль и вспомогательное оборудование. Наплавочный модуль состоит из корпуса, магнитострикционного преобразователя ПМС-15, электромагнитной катушки и волновода, выполняющего роль сердечника с полюсным наконечником. К вспомогательному оборудованию следует отнести сварочный выпрямитель ВД-401, ультразвуковой генератор УЗГ-2,5 и поперечно-строгальный станок, на котором закрепляется наплавочный модуль. В качестве материалов, наплавляемых на рабочие поверхности деталей машин, применяются ферромагнитные порошки на железной основе (Fe-V, Fe-B, Fe-Ti, С-300 и др.).

Технология наплавки включает в себя следующие операции:

- нанесение на поверхность детали ферромагнитного порошка в составе пасты на органической основе;
- включение магнитного, ультразвукового и электрического полей;

- сообщение детали и наплавочному модулю относительных перемещений.

Известно, что физико-механические и эксплуатационные свойства покрытий определяются их структурой, химическим и фазовым составом, которые в свою очередь зависят от метода ЭМН и свойств наплавляемых материалов.

Поскольку систематизированные данные об особенностях формирования покрытий электромагнитной наплавкой в ультразвуковом поле в литературе отсутствуют, то исследование структуры и свойств наплавленных слоев представляет как теоретический, так и практический интерес.

Нами проведены исследования структур покрытий, полученных электромагнитной наплавкой в ультразвуковом поле порошка Fe-2%V, имеющего следующий химический состав: 0,5% углерода; 2% ванадия; 0,4% кремния; 0,4% марганца; остальное – железо. Исследование структуры проводили с помощью металлографического микроскопа МИМ-7. Наплавленный слой представляет собой конгломерат очень мелких дисперсных пластин, по фазовому составу являющихся пересыщенным твердым раствором ванадия в  $\alpha$ -железе. Вблизи границы с основой покрытие имеет дендритно-ячеистое строение, ориентированное в направлении действия ультразвука, что способствует повышению износостойкости металла. Микротвердость наплавленных покрытий составляет 8000 МПа.

Сравнивая покрытия, полученные ЭМН с ультразвуком и без ультразвука, можно сделать вывод о том, что покрытия, полученные ЭМН в ультразвуковом поле, имеют более высокую износостойкость по сравнению с покрытиями, полученными ЭМН. Обусловлено это тем, что ультразвук способствует повышению плотности и однородности покрытия; воздействует на формирование его структуры, делая ее более дисперсной. Поэтому повышается твердость покрытий и соответственно сопротивление механическому разрушению их поверхности, что и увеличивает износостойкость покрытий.

## **ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ**

*Акулович Л.М., Кожуро Л.М., Иванов И.А., Мрочек Ж.А.  
ИП КТИ СМА, БАТУ, БГПА*

Проведенный системный анализ методов упрочнения и восстановления деталей машин, исследование и моделирование термомеханической обработки в электромагнитном поле, оптимизация параметров обработки, проектирование на основе положений технологической наследственности процессов обработки позволили разработать технологические основы термомеханичес-

кого упрочнения и восстановления деталей в электромагнитном поле, заключающиеся в следующем:

1. На основании системного анализа методов упрочнения и восстановления деталей разработана классификация, базирующаяся на использовании критериев твердо-, жидко- и газофазности материалов при формировании поверхностей, предложена методика выбора ресурсосберегающих процессов, основанная на изучении зависимости геометрических и физико-механических параметров качества поверхности от энергозатрат технологических воздействий. Для упрочнения и восстановления изношенных до 0,6 мм поверхностей вращения рекомендовано использовать электромагнитную наплавку ферропорошков с плотностью мощности  $5 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>, совмещая ее с поверхностным пластическим деформированием, последующим шлифованием и магнитно-абразивной обработкой.

2. Предложена методика проектирования процессов термомеханической обработки в электромагнитном поле, основанная на анализе энергетических и информационных критериев в технологической системе и выборе рациональных технологических решений при самоорганизации поверхностных явлений. Предложено процессы обработки в электромагнитном поле описывать энергетическим критерием (Si) или соотношением критериев магнитного взаимодействия и напряженности электрического поля (Sm/Se), а для управления термомеханическим формированием поверхностного слоя использовать критерий Рейнольдса (Re) или соотношение критериев Пекле и Прандтля (Pe/Pr), модифицированных с учетом изменений проводимости и вязкости ферропорошковой среды в электромагнитном поле. Показана организация обратных связей для управления производительностью и качеством поверхностной обработки: положительных – путем дополнительных перемещений частиц порошка и инструмента, отрицательных – посредством энергетических и силовых воздействий.

3. Разработаны математические модели теплового и напряженного состояния поверхностного слоя при термомеханической обработке в электромагнитном поле, показывающие, что температурные поля целесообразно представлять линейной суперпозицией нагрева на 400–1200°C от равномерно распределенного быстродвижущегося по поверхности источника и накопления тепла деталью, а максимальные эквивалентные напряжения предложено рассматривать при поверхностном деформировании на глубине от 0,5 до 0,8 полуширины площадки контакта с инструментом в зависимости от температуры нагрева поверхности.

4. Установлено, что формирование упрочненного слоя поверхности обеспечивается путем наложения хаотически расположенных на поверхности детали точечных вкраплений, образующихся из микрованн расплава частиц це-

порошков ферропорошка из 3–4 зерен. Толщина покрытия определяется адгезией расплавленного металла ферро-порошка к упрочняемой поверхности и достигает 0,6 мм. Упрочнение поверхности сопровождается процессами нанесения покрытия и эрозией его отдельных участков, рациональной является удельная длительность упрочнения 2,7 с/см<sup>2</sup>, при которой масса перенесенного на поверхность детали металла максимальна.

5. Получены статистические модели процессов термомеханической обработки в электромагнитном поле, определяющие влияние основных технологических факторов на параметры процессов. Показано, что при электромагнитной наплавке удельная длительность процесса ( $\tau$ ) обеспечивает прежде всего сплошность покрытиям ( $G$ ), а расходы жидкости ( $Q$ ) и порошка ( $q$ ) определяют производительность ( $\Delta m$ ). При электромагнитной наплавке с поверхностным пластическим деформированием наиболее сильное воздействие на геометрические, физико-механические и эксплуатационные параметры качества оказывают сила разрядного тока и сила давления.

6. Установлено, что при электромагнитной наплавке ферробором ФБ-1 формируются три зоны структурного строения упрочненного слоя стали 45: наплавленная, диффузионная и зона термического влияния. В наплавленной зоне основными структурными составляющими являются мартенсит, сорбит и комплексные дисперсные бориды на основе FeB и Fe<sub>2</sub>B с твердостью до 20 ГПа, а диффузионная зона представляет собой  $\alpha$  – твердый раствор бора в железе с твердостью до 11,5 ГПа. Выявлено, что поверхностное пластическое деформирование, совмещенное с электромагнитной наплавкой, увеличивает в 2–3 раза опорную поверхность упрочненной детали. После шлифования и полирования величина опорной поверхности увеличивается в 1,1–1,3 раза, а шероховатость достигает Ra=0,08 мкм, равной глубине следов воздействия свободного абразива. Определено, что электромагнитная наплавка ферропорошка ФБ-1 на сталь 45 увеличивает износостойкость поверхностей в 1,4–1,5 раз в сопоставлении с эталоном (сталь 45 нормализованная и закаленная с нагрева ТВЧ на глубину 1,2–1,6 мм и твердостью до 52–54 HRC). Улучшение геометрических характеристик упрочненных поверхностей после шлифования и полирования повышает их износостойкость в 1,1–1,2 раза.

7. Разработана методология проектирования гибкого производственного модуля термомеханической обработки в электромагнитном поле, включающего сопряженные объекты управления и приводы; управляющие устройства и системы датчиков, позволяющие модулю устойчиво работать в автоматическом режиме без внешних управляющих воздействий на всех операциях восстановления, упрочнения и обработки деталей. Спроектирован рациональный с позиции явлений технологической наследственности маршрут термомеханической обработки, реализуемый модулем: электромагнитная наплавка

с поверхностным пластическим деформированием, обеспечивающая шероховатость поверхности до  $Ra=5,0-6,3$  мкм, шлифование покрытий крутом из карбида кремния зеленого до  $Ra=0,63-0,80$  мкм и магнитно-абразивная обработка, формирующая поверхность детали с  $Ra=0,08-0,16$  мкм.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т96-105).

## **РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНОГО ЖЕЛЕЗНЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

*Юдин В.М., Веселовский Н.И.*

*РГАЗУ*

При восстановлении относительно небольших внутренних поверхностей деталей, загрузка которых в ванне железнения занимает большой объем, в стационарных условиях электролиза ванна железнения и источник тока используются малоэффективно.

Для повышения эффективности целесообразно в этом случае применять более высокие плотности тока, увеличивая таким образом скорость железнения.

Теоретические и экспериментальные исследования показали возможность значительного, в 5–10 раз, повышения рабочих плотностей тока при железнении в концентрированном простом хлористом электролите внутренних поверхностей деталей за счет введения в межэлектродное пространство вращающейся токонепроводящей перфорированной перегородки.

Анализ работы электролизера с вращающейся перегородкой показывает, что перегородка работает как турбинка центробежного насоса. Электролит в межэлектродном пространстве при этом вращается и, под действием центробежных сил, прижимается к поверхности наружного электрода, обтекает его поверхность и удаляется в основной объем ванны. На его место засасывается свежий электролит из основного объема ванны. Это обеспечивает интенсивный обмен электролита в межэлектродном пространстве.

При железнении ограничение катодной плотности тока может быть связано с достижением предельного тока диффузии ионов из-за резкого понижения концентрации разряжающихся ионов в прикатодном слое или с повышением pH в прикатодном слое и образованием гидроксида железа.

В этих случаях нарушаются условия электролиза и образуются шероховатые или губчатые осадки железа.

При высокой концентрации разряжающихся на катоде ионов железа, имеющихся в концентрированном хлористом электролите, достижение пре-

дельного тока диффузии может быть при очень большой плотности тока, о чем говорят полученные нами поляризационные кривые.

Поэтому мы считаем, что катодная плотность тока при железнении из данного электролита ограничивается защелачиванием прикатодного слоя и образованием гидроксида железа, который включается в покрытие.

Вращающаяся перфорированная перегородка создает условия для значительного повышения плотностей тока, при которых рН в прикатодном слое достигает значений образования гидроксида железа. Кроме того, существенно снижается вероятность включения гидроксида железа и водорода в образующееся покрытие из-за высокоскоростных потоков электролита вблизи катодной поверхности.

Определены условия электролиза при катодной плотности тока 100–200А/дм<sup>2</sup>, обеспечивающие получение качественных покрытий, прочно связанных с основой.

Разработана технология железнения с пониженным расходом воды и других материалов.

## **ОБНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ВНУТРЕННИМИ ЭВОЛЬВЕНТНЫМИ ШЛИЦАМИ**

*Князев В.Н.  
НПП "АгробелЭкс"*

Работа посвящена решению одного из аспектов важнейшей народнохозяйственной проблемы – ресурсо- и энергосбережению в сфере малого машиностроения, задачей которого является ремонт и восстановление машин и оборудования. Для конкретного класса остродефицитных деталей: зубчатых колес и муфт с внутренними эвольвентными шлицами, теоретически и экспериментально, с широким выходом на внедрение, обоснована возможность их обновления, используя для этих целей метод пластической деформации.

Такой метод позволяет без дополнительных затрат стратегического сырья, которым для РБ является металлический прокат, не только восстановить утраченную в процессе эксплуатации сложную форму деталей редукторов, коробок передач, задних мостов автомобилей и агрегатов других машин, но и повысить их долговечность за счет термомеханического упрочнения рабочих поверхностей.

Анализ номенклатуры быстроизнашивающихся деталей с зубчатым профилем, проведенный на протяжении многих лет на ремонтных предприятиях РБ и стран СНГ, показал, что наиболее трудоемкими деталями являются детали с внутренними зубчатыми венцами. К ним прежде всего относятся такие детали, как зубчатые муфты синхронизаторов автомобильных коробок передач, а также

фланцевые детали с внутренними эвольвентными шлицами: чашка водила колесной передачи автомобилей МАЗ, фланец полуоси автомобилей КРАЗ и др.

Для такого класса деталей свойственен интенсивный износ торцевых и боковых поверхностей эвольвентных шлицев. Во всех случаях выбраковочным дефектом является только износ шлицев, носящий сложный характер: смятие одновременно с абразивным износом торцевых и боковых поверхностей зубьев.

По рекомендации республиканского объединения "Авторемонт" и ряда ремонтных предприятий стран СНГ нами, в качестве деталей представителей, были отобраны две детали: зубчатая муфта синхронизатора КП автомобилей ГАЗ и фланец полуоси автомобилей КРАЗ. Для восстановления этих деталей возможно применение методов объемной штамповки и поперечной прокатки. Ниже рассматриваются особенности применения первого из них на примере восстановления зубчатых муфт синхронизаторов.

При осадке в штампе на молоте либо на прессе главное усилие  $P$  (Рис.1) раскладывается на две составляющие: нормальную силу  $N$  и касательную  $T$ . Последняя является определяющей для достижения цели – получить необходимое напряжение в шлицевом отверстии. Но сила  $T$ , как видно из Рис.1, значительно меньше нормальной силы, поэтому неизбежным является уменьшение толщины кольца  $\Delta h$ , что является недопустимым. Простой эксперимент на свинцовых и алюминиевых образцах подтверждает этот вывод. При этом, вследствие деформации паза под вилку, в оснастке необходимо предусматривать технологические уклоны для облегчения разборки штампа, что вызывает необходимость механической обработки паза под вилку после восстановления и существенно снижает эффективность технологического процесса.

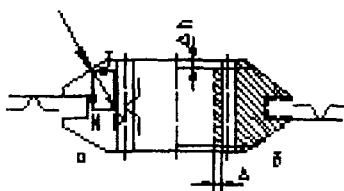


Рис.1. Схема осадки зубчатой муфты в подкладном штампе:  
а – до деформации; б – после деформации.

С целью устранения перечисленных недостатков и повышения эффективности процесса нами был разработан и внедрен на Рижском (Латвия) опытно-механическом заводе технологический процесс восстановления изношенных муфт синхронизаторов КП автомобилей ГАЗ-24, в котором применен метод осадки в подкладном штампе с разъемной матрицей (Рис.2).

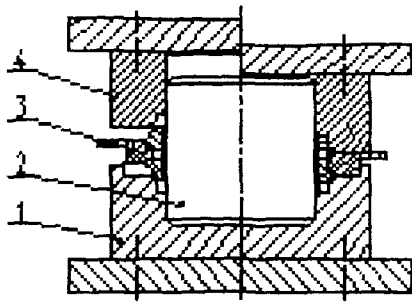


Рис. 2. Осадка в подкладном штампе с разъемной матрицей:  
 1 – матрица; 2 – оправка; 3 – полукольцо; 4 – пуансон.

Такой метод отличается простотой и обеспечивает высокую производительность – до 100 деталей в час.

Штамп состоит из двух плит, нижней и верхней, с закрепленными на них соответственно матрицей 1 и пуансоном 2, двух полуколец 3 и оправки 4.

Технологический процесс восстановления включает в себя следующие основные операции:

1. Нагрев в камерной электрической печи до температуры 960–980°C в защитной атмосфере эндогаза.
2. Установка на нагретую деталь двух полуколец, препятствующих деформации паза под вилку и создающих объемно-деформированное состояние в зонах вытеснения, и помещение детали в сборе с полукольцами на оправку в штамп. Технологическая смазка – ойлдаг.
3. Штамповка на фрикционном прессе.
4. Выпрессовка оправки и извлечение восстановленной детали.
5. Отжиг в камерной электрической печи для снятия наклепа и улучшения обрабатываемости на механических операциях.
6. Токарная обработка кольцевой канавки шириною 7,6 мм и диаметром  $\varnothing 76$  мм.
7. Токарная обработка торцов, наружного и внутреннего диаметров, проточка внутренней канавки  $R=2,5$  и  $\varnothing 68,7$  мм.
8. Протяжка эвольвентных шлиц на горизонтально-протяжном станке мод. 7Б520.
9. Калибрования шлицев эвольвентной прошивкой на гидравлическом 40 т прессе.
10. Закругление зубьев (снятие скосов) на станке модели 5А580 поочередно с каждой стороны.
11. Термическая обработка HRC 50–55.
12. Контроль геометрических параметров и твердости зубьев (выборочно).

Восстановленные детали (опытная партия 50 шт.) были подвергнуты длительным эксплуатационным испытаниям на автопредприятиях Латвии. Рекламаций и других замечаний по качеству восстановления зубчатых муфт не было. Разработанный технологический процесс, отличающийся низкой трудоемкостью и себестоимостью, внедрен на ряде авторемонтных предприятий РБ.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ГАЗОПЛАМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ СПЛАВОВ**

*Осучукву В. Ч.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Структура и свойства покрытий из самофлюсующихся сплавов зависят от способа их нанесения и последующей термической обработки.

Покрытия из самофлюсующихся материалов на основе никеля нашли широкое применение для восстановления деталей двигателей и сельскохозяйственных машин. Это объясняется их высокой износостойкостью в различных условиях эксплуатации и высокой прочностью сцепления с основой.

Одним из перспективных способов нанесения защитных покрытий является газопламенное напыление, применение которого особенно выгодно в условиях ремонтного и мелкосерийного производства. Основным требованием к покрытию является обеспечение минимального уровня остаточных напряжений, исключаяющего его растрескивание и отслоение до момента оплавления.

Пористость напыленного покрытия в зависимости от режимов напыления составляет от 5 до 20%.

Однако основным препятствием при внедрении технологии газопламенного напыления является дефицит ацетилена, используемого в качестве горючего газа. Поэтому замена ацетилена другими горючими газами является весьма важной задачей. Наиболее доступным и дешевым из газов, заменителей ацетилена, является сжиженный газ пропан-бутан. Теплотворная способность пропан-бутана почти в 2 раза выше, чем у ацетилена. Однако температура его пламени и скорость воспламенения в смеси с кислородом ниже, чем у ацетилена. В отличие от ацетилена, термический распад сжиженных газов происходит не с выделением, а с поглощением тепла, поэтому наивысшую температуру пропан-бутано-кислородное пламя имеет на расстоянии в 2–3 раза дальше от среза сопла, чем ацетилено-кислородное пламя. Так как скорость воспламенения газов-заменителей значительно ниже, чем у ацетилена, факел пропан-бутано-кислородного пламени более увеличен, а само пламя менее концентрировано.

В качестве методов последующего термического воздействия на напыленное покрытие для уменьшения пористости и повышения прочности сцепления покрытия применялись газопламенное оплавление горелкой с использованием в качестве горючего газа пропан-бутана и ацетилен, оплавление с использованием лазерного излучения с длиной волны 10,6 мкм, мощностью 1,5 кВт.

Особенностью самофлюсующихся сплавов является высокая структурная чувствительность к термическому воздействию. Термическая обработка напыленных покрытий влияет на соотношение величины зерна и структурных составляющих сплавов.

В основном сплавы имеют трехфазные структуры: твердый раствор, эвтектика и твердые включения (бориды, карбиды и др.).

Различные режимы оплавления влияют на структуру термообработанных (оплавленных) покрытий. Установлено, что использование горючей смеси ацетилен-кислород при оплавлении газовой горелкой создает более мелкодисперсную карбидо-боридную фазу по сравнению с использованием пропан-бутан-кислородной смеси. Из-за более низких термодинамических характеристик пропан-кислородного факела для нагрева до температуры оплавления требуется больше времени, из-за чего и происходит укрупнение структуры.

Применение лазерного излучения, которое на несколько порядков увеличивает скорость нагрева покрытия, приводит к дальнейшему уменьшению структурных составляющих оплавленного покрытия.

Таким образом, в зависимости от способа термического воздействия изменяется величина зерна, износостойкость покрытия, карбидо-боридная фаза более мелкодисперсная и более равномерно распределена по всему объему покрытия, а следовательно, повышаются и физико-механические свойства.

Изменения величины зерна и относительной износостойкости для различных методов оплавления представлены на рис. 1 и 2.

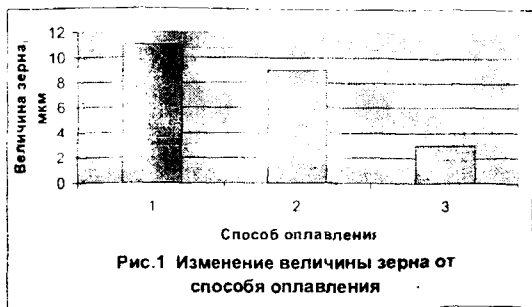
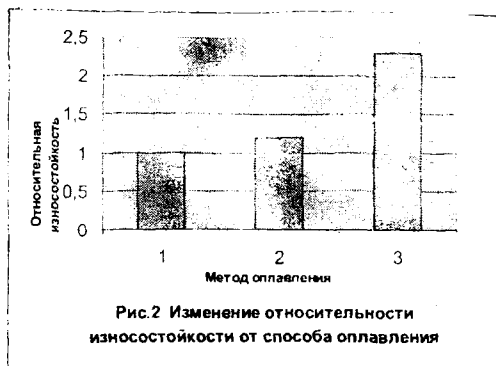


Рис.1 Изменение величины зерна от способа оплавления

- 1 - пропан-бутан
- 2 - ацетилен
- 3 - лазерный луч



1-пропан-бутан  
 2 - ацетилен  
 3 - лазерный луч

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ В ПСЕВДОСЖИЖЕННОМ СЛОЕ

*Миронович Л.Л., Гартман Е.В., Фалинская И.Н.*

*Институт механики металлополимерных систем им. В.А.Белого НАНБ*

Один из перспективных путей увеличения срока службы деталей гидроагрегатов - применение антифрикционных композиционных полимерных покрытий, наносимых на изношенные металлические поверхности трения в псевдосжиженном слое. Метод восстановления с помощью дисперсных полимерных композиций является универсальным, может использоваться при ремонте деталей большой номенклатуры. К достоинствам его можно отнести и возможность многократного восстановления одной и той же детали.

Имеется положительный опыт использования полимерных композиционных покрытий на базе дисперсного модифицированного полиамида ПА-6 для восстановления поверхностей трения гидроагрегатов: золотники гидрораспределителей Р-75-22, Р-75-23; втулки насосов типа НШ-32, НШ-46; подшипники насосов типа НШ-10Е, НШ-6Т; компенсаторы насосов типа НШ-50У-2; пластики, обоймы подшипниковые и поджимные насосов НШ-32-2 и НШ-32-3. Испытания насосов шестеренных модели НШ46У с втулками, восстановленными композиционным дисперсным металлополимерным материалом, на всех режимах ТК 70.0001.018-81 ГОСНИТИ показали производительность 49,5-52,0 л/мин.

Разработанные материалы триботехнического назначения и предложенный способ восстановления изношенных деталей упрощают ремонт узлов трения при небольших материальных затратах. Участок по восстановлению изношенных деталей может быть организован на любом ремонтном предприятии.

## ТОЧНОСТЬ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Гроскрейц Г.Л.*

*Могилевский машиностроительный институт*

Точность алмазного выглаживания зависит от способа ведения процесса. Закрепление выглаживающего инструмента может быть упругим или жестким. Упругое закрепление позволяет выглаживателю во время обработки копировать погрешности формы детали. Так как изменение силы выглаживания, вызываемое биением обрабатываемой детали, мало, то обжатие и изменение ее размера происходит равномерно. Размер детали изменяется вследствие смятия исходных микронеровностей и перераспределения металла в поверхностном слое. После выглаживания наружный диаметр обрабатываемых деталей уменьшается, а диаметр отверстий увеличивается.

Точность процесса обработки характеризуется рассеянием размеров деталей в партии. Проведенные многочисленные эксперименты показывают, что рассеяние после упругого выглаживания практически не изменяется. При упругом выглаживании погрешности геометрической формы деталей в поперечном сечении (некруглость, овальность, гранность) и в продольном сечении (непрямолинейность, конусность, бочкообразность) копируются. Таким образом, при выглаживании с упругим закреплением выглаживателя поле рассеяния размеров деталей существенно не отличается от точности до выглаживания.

При выглаживании с жестким закреплением выглаживателя происходит принудительное исправление погрешностей формы как в поперечном, так и в продольном сечении деталей. При этом способе выглаживания предъявляются повышенные требования к жесткости станка и к точности установки детали и инструмента.

Помимо исходной шероховатости на изменение размера при выглаживании влияет целый ряд факторов, из которых наиболее важным является сила выглаживания или глубина внедрения выглаживателя. С ростом силы или глубины внедрения увеличивается степень остаточной деформации и изменение размера обрабатываемой детали. Остальные технологические факторы процесса – подача, скорость, число проходов – влияют на изменение размеров в гораздо меньшей степени.

В научно-технической литературе встречаются сведения о необходимости обеспечения на предшествующем алмазному выглаживанию переходе точности размеров на 20–30% выше заданной для окончательно обработанной детали. Существенных доказательств этого положения не приводится, и, по-видимому, необходимы широкие исследования, чтобы доказать его или

опровергнуть. В связи с этим, в ходе дальнейших исследований целесообразно провести статистический анализ точности деталей до обработки и после выглаживания.

## **НАНЕСЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ**

*Степанова Л.И., Пуровская О.Г., Комаровская Я.Д., Иванов В.П., Подосетников М.В. НИИ ФХП БГУ, ОАО "Проммашремонт"*

Современное финансовое состояние предприятий по ремонту различных машин и оборудования и отсутствие в достаточном количестве запасных частей делают проблему восстановления изношенных деталей машин различными способами очень актуальной. Известно множество покрытий и вариантов поверхностной обработки, обеспечивающих улучшение эксплуатационных свойств восстановленных изделий и механизмов, работающих в условиях трения. Среди многочисленных методов восстановления-упрочнения различных деталей метод гальванического осаждения занимает важное место, поскольку позволяет получать покрытия определенного состава с заданными функциональными свойствами, регулировать в широких пределах скорость их осаждения и микроструктуру за счет варьирования состава электролита и условий проведения процесса, наносить покрытия одновременно на большое количество деталей. Появление в активе гальваников высокоскоростных электролитов, обеспечивающих нанесение покрытий со скоростью 1–1.5 мкм/мин, возможность регулирования пространственной геометрии восстановленных деталей, отсутствие термического воздействия в процессе нанесения покрытия наряду с вышеперечисленными достоинствами, а также изменения в соотношении стоимости материалов и энергоносителей для различных способов восстановления в настоящее время делают метод электрохимического осаждения вполне конкурентоспособным в сравнении с другими методами, в частности, методами наплавки или напыления.

Авторами доклада разработана технология нанесения антифрикционных покрытий сплавами Pb-Sn-Sb или Pb-Sn-Cu из борфтористоводородных электролитов. Введение в свинцовооловянные сплавы третьего компонента позволяет повысить их микротвердость, улучшить прирабатываемость, износостойкость и стойкость против эрозии. Наряду с солями восстанавливаемых металлов растворы содержат свободную борфтористоводородную кислоту, регулирующую pH прикатодного слоя и улучшающую рассеивающую спо-

способность и стабильность электролита, борную кислоту, выступающую в качестве буферной добавки, желатину и резорцин, регулирующие относительные скорости выделения компонентов сплава и способствующие осаждению мелкозернистых плотных осадков. Механическое перемешивание позволяет свести до минимума пористость осадков и повысить скорость осаждения. Процесс проводится при комнатной температуре и плотности тока до 4 А/дм<sup>2</sup>. Подобранные составы растворов и режимы осаждения позволяют осуществлять наращивание со скоростью до 1,35 мкм/мин и получать покрытия хорошего качества при толщине до 200–250 мкм. Производительность процесса зависит от объема используемых ванн и требуемой ремонтной толщины. При наличии 2–3 ванн объемом 350–370 л и ремонтной толщине 120 мкм за смену можно восстановить 500–600 деталей площадью 0,2–0,3 дм<sup>2</sup>.

Разработанная технология использовалась для восстановления вкладышей подшипников. Процесс включал в себя предварительную механическую обработку вкладышей, их обезжиривание, травление, нанесение тонкого никелевого подслоя на алюминиевую основу внутренней поверхности вкладыша и осаждение антифрикционного медносвинцовооловянного или сурьмяносвинцовооловянного покрытия до требуемой толщины. По описанной схеме восстановлены комплекты вкладышей подшипников для двигателей ЗМЗ-53-11, которые эксплуатируются в хозяйствах Витебской области с февраля 1998 г. Нарботка отремонтированных двигателей к сентябрю 1999 г. составила более 70 тыс. км пробега при гарантийном сроке эксплуатации двигателя с новыми вкладышами до 50 тыс. км. Стоимость восстановленного комплекта вкладышей для двигателей этого типа составила 30–40% от стоимости новых деталей. Расчеты показывают, что при восстановлении вкладышей для двигателей других типов стоимость реставрации может составить 10–20% от цены новых деталей.

В настоящее время оптимизируются режимы проведения каждой из операций технологического процесса нанесения покрытий, проводится работа по подготовке производства на Полоцком ОАО "Промашремонт" к освоению технологии. Полученные результаты дают основания предположить, что разработанную технологию можно рекомендовать как для восстановления вкладышей подшипников различных типов, так и для нанесения антифрикци-

онных покрытий при изготовлении и ремонте ряда деталей, работающих в условиях трения.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРОГРАММНО-ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМИ РС-ФИЛЬТРАМИ ПРИ РЕМОНТЕ И ОБСЛУЖИВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН.**

*Кузнецик О.О., Пресняков Г.А.  
ИНДМАШ НАНБ*

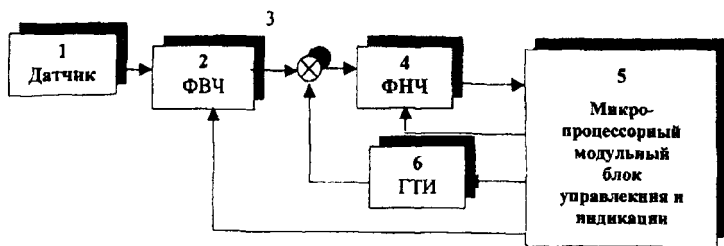
Использование систем и устройств диагностики, которые позволяют выявлять и наблюдать развитие дефектов в узлах и деталях сельскохозяйственных машин в процессе их эксплуатации, повышает эффективность ремонтного производства. Кроме того, оно позволяет снизить вероятность незапланированных простоев техники в поле, вызванных поломкой. В связи с этим встает вопрос выбора схемного решения при проектировании систем или устройств диагностики, которые нашли бы свое широкое применение в ремонтном производстве с/х техники.

Из обзора литературы следует, что техническая диагностика, в основе которой лежит виброакустический подход, является достаточно универсальной. Критерием оценки здесь являются уровни вибраций, вызванные работой деталей механических систем. Любые выявленные изменения в спектре сигнала связываются с отклонениями от нормального функционирования исследуемого механизма.

В настоящее время в диагностике широко применяются методы цифровой обработки сигналов. При исследовании колебательных процессов механической системы обработку временных реализаций проводят, как правило, с применением алгоритмов дискретного или быстрого преобразований Фурье. Однако, если диагностика ведется не по вынужденным частотам и их гармоникам, то вследствие случайно-периодического характера возникающих при работе механизмов колебаний выявить связь между изменяющейся амплитудой, энергией и состоянием детали представляет значительную трудность, т.к. повышение значения амплитуды может быть обусловлено периодическими составляющими узкополосного шумового процесса. Методы, основанные на автокорреляционном анализе с использованием случайных функций и априорных данных о периодичностях, хотя и эффективны, но довольно сложны. В итоге создаются достаточно дорогие диагностические устройства, которые требуют высокой квалификации обслуживающего персонала.

Если при диагностике сельскохозяйственных машин анализ состояния вести на вынужденных частотах и их гармониках, то эффективнее всего, при обработке сигналов, использовать подход, построенный на методе аналого-

вой обработке сигналов. Современный уровень полупроводниковой элементной базы позволяет создавать относительно не сложные и не дорогие портативные измерительные устройства, которые в своей основе используют программно перестраиваемые полосовые РС-фильтры. В ИНДМАШ НАНБ создан опытный образец средства диагностики, в котором реализована функциональная блок-схема, использующая в своей основе такой фильтр. Упрощенный ее вариант приведён на рис. 1.



*Рис. 1. Упрощённая блок-схема 6-% спектроанализатора: 1 – датчик, 2 – перестраиваемый ФВЧ, 3 – амплитудно-импульсный модулятор, 4 – перестраиваемый ФНЧ, 5 – микропроцессорный модульный блок управления и индикации, 6 – генератор тактовых импульсов.*

Использование в схеме перестраиваемого генератора прямоугольных тактовых импульсов, частота которых равна частоте измерения, дает возможность за счёт амплитудно-импульсной модуляции повысить добротность полосового фильтра. Это позволило создать опытный образец устройства спектроанализатора, которое при своих размерах (244 x 225 x 225 мм) и массе 0,4 кг вместе с аккумуляторными батареями, имеет 6-% полосовой последовательно перестраиваемый фильтр в диапазоне частот от 10 гц до 10 кгц.

## **ОЦЕНКА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

*Капитонов А.В.*

*Могилевский машиностроительный институт*

Восстановление поверхностей деталей производится как на универсальном оборудовании, так и на специальных установках. Приводы этих устано-

вок включают в себя механические передачи, к которым предъявляются требования в отношении кинематической точности.

Исходя из этого, разработана методика измерения кинематической погрешности механических передач в сборе. На основе данной методики проведены исследования редукторов различных типов.

На входном и выходном валах редуктора устанавливаются два диска, соответственно, делительный и измерительный. На цилиндрической поверхности измерительного диска закреплена струна, связанная с ножкой индикатора, установленного на стойке. При повороте входного вала на постоянный угол, струна наматывается на измерительный диск радиуса  $R$  и перемещает на действительную величину длины дуги ножку индикатора, который фиксирует это перемещение. Кинематическая погрешность определяется как разность действительной и номинальной длин дуг окружности радиуса  $R$  с учетом радиального биения диска, установленного на выходном валу.

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ПРИВодОВ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

*Пашкевич А. М.*

*Могилевский машиностроительный институт*

После ремонта приводов может меняться их кинематическая точность. Для проверки соответствия кинематической точности исходным требованиям используются традиционные методы контроля. Они основаны на сравнении углов поворота контролируемого колеса, находящегося в зацеплении с эталонным, с углом поворота ведомого вала точной передачи, которая представляет собой фрикционную пару цилиндрических колес, воспроизводящих передаточное отношение контролируемой передачи. Приборы, использующие данный метод, не позволяют контролировать редукторы в сборе и особенно с большими передаточными отношениями.

Этих недостатков лишены разработанные нами методы. Они позволяют оценить кинематические погрешности редукторов прямым путем – измерением отклонений углов поворота ведомого вала от номинального значения этих углов при повороте ведущего вала на равные углы. Реализация этих методов проста, хотя и требует использования высокоточного измерительного устройства для оценки углов поворота ведомого вала редуктора. В качестве такого устройства мы использовали индикатор часового типа с ценой деления 0,001 мм.

В первом из разработанных методов производится сравнение линейных перемещений, пропорциональных углам поворота ведущего вала, с перемещениями, пропорциональными углам поворота ведомого вала, уменьшенными в число раз, равное передаточному отношению.

При невысоком передаточном отношении этот метод можно реализовать следующим образом. На ведущем и ведомом валах закрепляются эталонные диски, отношение диаметров которых соответствует передаточному отношению редуктора. На их поверхностях закрепляются гибкие нити, которые, наматываясь на диски, вызывают перемещения основания измерительного устройства и наконечника индикатора. Показания индикатора дают кинематическую погрешность, приведенную к диаметру диска, закрепленного на ведомом валу.

При больших значениях передаточных отношений эталонная передача выполняется в виде винтовой, ведущее звено которой связано с ведущим валом редуктора. На ведомом валу редуктора закрепляется эталонный диск. Как и в предыдущем случае, производится сравнение перемещений основания измерительного устройства и наконечника индикатора, связанных гибкими нитями соответственно с ведомым звеном винтовой передачи и эталонным диском.

Второй метод основан на сравнении двух электрических сигналов: сигнала, пропорционального углу поворота ведомого вала редуктора, и эталонного сигнала, пропорционального углу поворота ведомого вала идеально точной передачи. Здесь идеально точная (или эталонная) передача имитируется регулируемым источником постоянного напряжения. Сравнение сигналов производится в блоке сравнения, выполненном на двух резисторах. Сравниваемые сигналы поступают на резисторы в противофазе, и на выходе блока сравнения формируется разностный сигнал, пропорциональный кинематической погрешности контролируемого редуктора.

## **РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ РЕМОНТА И ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭКСТРУДЕРОВ ПИЩЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЗАРУБЕЖНЫМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМИ ФИРМАМИ**

*Алексеева Е.И.*

*Центральный ботанический сад НАН Беларуси*

Экструзионные методы обработки, широко применявшиеся ранее в производстве изделий из химических полимерных материалов, в настоящее время получили широкое распространение в пищевой промышленности.

Основой экструзии является совмещение процессов смешивания, уваривания и формования изделий в одной машине (экструдере), которая отличается простотой устройства, обслуживания и ремонта.

Распространению экструзионного метода получения пищевых продуктов способствовала заинтересованность крупных машиностроительных фирм в создании универсальных экструдеров, работающих с широким ассортиментом исходных пищевых материалов, что неизбежно приводит к износу рабочих органов экструдера.

В литературе описан метод распознавания износа деталей экструдера. Он основан на разработке математической модели процесса работы силового шнека, в которой входной параметр основан на частоте вращения шнека, а выходной на величине давления экструзии. Если в экструдере обнаруживается начало износа, то это вызывает значительные изменения параметров. После сравнения с эталонной моделью этот процесс может быть зарегистрирован. Из этого следует, что могут быть разработаны такие автоматические системы инспекции и обслуживания, которые позволят обнаружить ранние стадии износа экструдеров и предотвращать тем самым их неисправности и поломки.

Ведущими фирмами в области производства универсальных экструдеров являются: Clextral Inc., Creusot Loire ( Франция ), Werner und Pfleiderer ( ФРГ ).

Рассмотрим особенности экструдеров этих фирм.

Экструдер фирмы Creusot Loire имеет станину, на которой крепится привод и дозаторы сухих и жидких компонентов.

Шнеки экструдера выполнены однозаходными взаимозацепляющимися с вращением в одну сторону. Это обеспечивает надежное транспортирование продукта и отсутствие расклинивающего эффекта. Шнеки состоят из различных элементов, которые можно устанавливать в любом порядке на валах снабженных шлицами, что облегчает их обслуживание и ремонт.

В зависимости от необходимой формы изделия в передней стенке изделия устанавливают фильеры. Они представляют собой цилиндрическую втулку с узкими каналами, обеспечивающими получение изделия заданной формы (в виде гранул произвольной и близкой к сферической форме, плоских хлебцев, хлопьев, колец и т.д.).

Конструкция экструдера обеспечивает возможность до запуска в работу легко менять шнеки, длину выходной камеры, фильеры. Во время работы можно изменять частоту вращения шнеков, расход материала, температуру нагрева, скорость режущего устройства.

В настоящее время фирма производит экструдеры марки ВС пяти типоразмеров производительностью от 40 до 1000 кг/час по зерновым продуктам.

Экструдер фирмы Clextral (Франция) состоит из станины, представляющей собой сварной узел, на котором установлен привод, состоящий из электропривода постоянного тока и распределительной коробки. На шнековом корпусе расположены: стенка с фильерами и гранулятор. Имеется дозатор сухих компонентов, шкаф с пультом управления. Конструкция станины позволяет устанавливать на одной и той же станине корпуса различной длины.

Для удобства обслуживания и ремонта корпус выполнен быстроразъемным, для чего в моделях ВС-45, 72, 82, 92 отвинчиваются четыре гайки, в моделях ВС -105, 160 -- одна, в результате корпус легко сдвигается по направляющим, открывая шнеки. Корпуса могут выполняться в зависимости от тре-

бований мало- или сильноохлаждаемыми. В качестве элементов нагрева используются индуктивные катушки.

Шнеки выполнены однозаходными взаимозацепляющимися с вращением в одну сторону. Элементы шнеков монтируются на *шлицевых* валах, которые могут выдерживать крутящие моменты значительной величины. Сменные фильеры позволяют получать изделия любой формы. Экструдер оснащен насадкой для получения двухслойных изделий или внесения начинки. Установка снабжена предохранительными устройствами для обеспечения регламентированной ее работы и остановки в случае аварийной ситуации. Блок управления представляет собой шкаф, снабженный мнемосхемой управления экструдером.

Экструдер "Континуа" фирмы *Werner und Pfeleiderer* (ФРГ) состоит из приводного электродвигателя, редуктора с опорными подшипниками, сборного корпуса с участками загрузки сырья, различных добавок, дегазации. В разгрузочной части экструдера устанавливается гранулятор или целевые матрицы. При сборке экструдера принят блочный метод, что позволяет на одной установке перерабатывать разнообразные материалы.

Шнековый корпус состоит из отдельных блоков, каждый из которых можно разобрать для установки втулок из износостойкого материала, выполненных в виде восьмерок. В зависимости от производственной необходимости применяют закрытые блоки, блоки с отверстиями для загрузки материалов и дегазации. В каждом блоке можно помещать датчики для контроля технологических параметров процесса. В блоках имеются каналы для пропускания теплоносителя.

Шнеки экструдера составлены из отдельных двухзаходных элементов. Для транспортирования применяется специальный профиль шнека. Профили рабочих органов выполнены самоочищающимися, зазоры между профилями минимальны. Элементы шнеков выполняются на *шлицевых* валах. Экструдер снабжен набором фильер и устройством для гранулирования.

Фирмой *Texttruder* (Португалия) выпускаются агрегаты, представляющие сочетание одно- и двухшнековых машин. Конические шнеки машины позволяют получить дополнительное пространство для размещения упорных подшипников и зубчатой передачи. Небольшое число оборотов шнеков, несмотря на их взаимное оттапливание, не вызывает значительного износа шнеков. Высокий износ отмечается лишь в формирующей головке, где шнеки вращаются с большой скоростью.

Корпус и шнек формирующей головки могут легко удаляться для проведения дополнительных технологических операций: переналадки, вакуумирования, введения дополнительных компонентов, охлаждения.

## ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД С ОТХОДАМИ ГАЛЬВАНОПРОИЗВОДСТВА

*Семенов В.И.*

*ОАО Полоцкий завод "Проммаширемонт"*

Гальваническое производство относится к разряду весьма опасных источников загрязнения окружающей среды. Во-первых, происходит выброс хрома, хлористого водорода, серной кислоты и других веществ в атмосферу. Во-вторых, сточные воды гальванического производства содержат различные химические продукты (кислоты, щелочи, соединения шестивалентного хрома). Но наиболее острой проблемой охраны окружающей среды на предприятии в настоящее время является размещение токсичных отходов, образующихся при очистке технологического и вентиляционного оборудования гальванического участка, т.к. в регионе нет специализированных полигонов для обезвреживания отходов и технологий по их переработке.

Имеется техническое решение, суть которого состоит в смешивании отходов, состоящих в основном из хромового ангидрида и солей тяжелых металлов, со сточными водами гальванического производства, которые нейтрализуются и очищаются на автомагистированной установке очистки гальваностоков РКВ 50-032М.

Процесс обезвреживания начинается в трубопроводе, по которому сточные воды вместе с растворенными отходами из гальванического участка поступают в усреднитель. Процесс продолжается в усреднителе, где соединения шестивалентного хрома, поступающие совместно с кислотными и щелочными промывными сточными водами, в которых имеются ионы двухвалентного железа, преобразуются в нерастворимые малоокисные соединения трехвалентного хрома. Часть ионов тяжелых металлов (Zn, Al, Fe) при значениях pH 5,2 : 9,7 переходит в гидроксидные соединения и выпадает в осадок. Окончательный переход соединений шестивалентного в трехвалентный хром и других ионов тяжелых металлов в гидроксидные соединения с выпадением их в осадок происходит в реакторе с коагулянтном и реагентами.

Для приготовления коагулянта используется металлическая стружка. По мере накопления осадка, он поступает в вакуум-фильтр для обезвоживания, после чего вывозится на утилизацию.

Таким образом, в результате очистки сточной воды и растворенных отходов гальванопроизводства происходит осаждение токсичных отходов в труднорастворимые соединения, а содержание загрязняющих веществ в гальваностоках соответствует нормам ПДК.

## ВЫСОКОМОМЕНТНЫЙ БАЛОННЫЙ КЛЮЧ ДЛЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

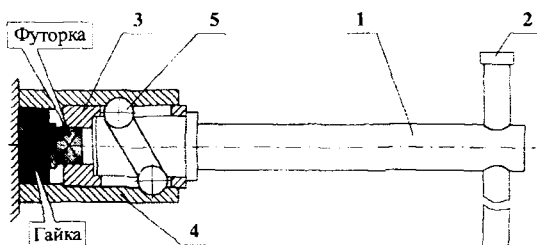
*Крез А.И., Лустенков М.Е.*

*Могилевский машиностроительный институт*

Синусошариковые редукторы, разрабатываемые в Могилевском машиностроительном институте, находят применение во многих отраслях народного хозяйства. В частности, для повышения эффективности ремонтных работ при обслуживании грузового автомобильного парка авторами разработан высокомоментный ключ для отворачивания гаек на задних колесах грузовых автомобилей марки ЗИЛ и ГАЗ. В основу конструкции ключа положена цилиндрическая синусошариковая передача.

Созданное устройство является средством малой механизации и предназначено для облегчения операции ручного демонтажа задних колес грузовых автомобилей названных марок. Ключ усиливает крутящий момент при откручивании гаек, крепящих задние колеса автомобиля, обеспечивая, при этом, гарантированное стопорение футорки, которая, при традиционном отворачивании, может "пойти" вместе с гайкой. Последнее существенно осложняет ситуацию демонтажа колеса и требует проведения целого ряда дополнительных мероприятий по разъединению гайки с футоркой.

Предлагаемый ключ (см. рис.) состоит из ведущего вала 1 с рукояткой 2, водила 3, корпуса 4 и шариков 5. Водило и корпус имеют соответственно четырехгранное и шестигранное отверстия для установки ключа на отворачиваемые гайку и футорку.



Вращение ведущего вала устройства приводит к тому, что при загорможенном водиле (водило находится в зацеплении с футоркой) корпус ключа с меньшей скоростью вращается в сторону, противоположную направлению вращения рукоятки, а на водиле создается реактивный крутящий момент, предотвращающий отворачивание футорки вместе с гайкой. Футорка будет стремиться повернуться в сторону, противоположную вращению гайки, т.е. дополнительно затягиваться.

Применение синусошарикового редуктора позволяет получить левое вращение ведомого вала при правом вращении ведущего что также может обеспечить и планетарный зубчатый редуктор. Однако, синусошариковая передача при одинаковой нагрузочной способности имеет более низкую металлоемкость по сравнению с зубчатой, соответственно, меньшие габариты и вес, а также проста в изготовлении.

Синусошариковый редуктор обеспечивает увеличение крутящего момента на выходном валу за счет определенного соотношения чисел периодов синусоидальных канавок на внутренней и наружной втулках. Числа периодов, выполненных на деталях редуктора канавок, практически не зависят от габаритов редуктора, что позволяет проектировать механизмы с большими передаточными отношениями при относительно небольших размерах.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РЕМОНТНЫХ КОМПЛЕКТОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ**

*Вербицкий М.А.*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

Проведенными в БАТУ исследованиями установлено, что наибольшее число отказов сельскохозяйственных тракторов приходится на двигатель (44%) и гидросистему (15%), а в ней – на гидрораспределитель.

С целью выявления наиболее характерных неисправностей у выбракованных хозяйствами и направленных на специализированные ремонтные предприятия гидрораспределителей авторами была продиагностирована партия их (62 штуки) с использованием стенда КИ-4815 и специально разработанных приспособлений.

При этом установлено, что среди продиагностированных гидрораспределителей более половины (66%) требовали замены отдельных деталей предохранительного и (или) перепускного клапанов, клапана бустера, которую могли бы производить собственными силами, и только 34% – хонингования корпусов под ремонтный размер с изготовлением золотников соответствующего размера. Такое положение может быть объяснено тем, что выбраковка гидрораспределителей пользователями производится необъективно, т.е. без использования дросселя-расходомера ДР-70.

Результаты диагностирования гидрораспределителей показаны в табл. 1.

## Результаты диагностирования гидрораспределителей

Вид неисправностей	Количество случаев	
	шт.	% от общего
Восстанавливаемые в хозяйстве с помощью ремонтного комплекта:		
1. Износ гнезда предохранительного клапана	12	19
2. Износ предохранительного клапана (шарика)	32	51
3. Износ гнезда перепускного клапана	21	33
4. Износ перепускного клапана	18	29
5. Износ гнезда клапана бустера	14	22
6. Износ плунжера	23	37
Восстанавливаемые на специализированных предприятиях:		
7. Износ золотниковой пары	22	34

С учетом полученных результатов исследований нами был разработан состав так называемого большого (табл.2) ремонтного комплекта для гидрораспределителей. По договору с ПО "Гидроавтоматика" (г. Гомель) было сформировано более двухсот больших ремонтных комплектов и реализовано сельскохозяйственным предприятиям республики. По отзывам инженерной службы хозяйств в 80–90% случаев комплекты позволяли восстановить работоспособность гидрораспределителей в ремонтных мастерских.

Таблица 2

## Ведомость комплектации большого ремонтного комплекта (БРК-Р) для гидрораспределителя Р80-3/4-222

Группа	Подгруппа	№ поз. на рис.	Обозначение	Наименование	Материал	Кол-во в комплекте
1	2	3	4	5	6	7
46	Р80-3/4-222	4	Р80-23.20.013	Гнездо	Сталь ШХ15	1
		5	Р40/75-0808062	Клапан	Сталь ШХ14	1
		3	Р75-В-28-А	Прокладка	Алюминий	4
		9	018-022-25-2-3 ГОСТ 9833-73	Кольцо	Резина	3
		7	Р40/75-0808048Б	Пружина	Проволока П-2	1
		48	Р80-23.20.043	Гнездо	Сталь 45х	1
		39,41	025-030-30-2-3 ГОСТ 18829-73	Кольцо	Резина	2
		46	Р80-23Р.20-041	Клапан перем. двойной	Сталь ШХ15	1

1	2	3	4	5	6	7
		46	P80-23P.20-041	Клапан пере- ливной	Сталь ШХ15	1
		40	P80-23.20.073	Направляющая	Чугун С 420	1
		18	018-027-30-2-3 ГОСТ 9833-73	Кольцо	Резина	1
		15	P40/750808039A	Прокладка	Паронит	1
		20	P40/7508080-38-A	Прокладка	Паронит ПМБ 0,6	1
		24	P75-056	Пыльник	Резина 7-4908	3
		26	НШ-46-0505037	Кольцо	Резина 7ВМ-1	3
		31	P80-23.20.065	Кольцо	Полиамидная смола 68	3
		32	P80-23.20.064	Кольцо	Полиамидная смола 68	3
		42	P75-072	Пружина	Проволока II-1,5	1
		65	P80-23.20.045	Плунжер	Сталь ШХ-15	3
46	P75-33P	58	P75-B-027-A	Гнездо	Сталь ШХ-15	3
		59	P75-B-026	Клапан бустера	Сталь ШХ-15	3

Примечание: данные колонок 1–6 заимствованы из книги: Каталог деталей и сборочных единиц тракторов МТЗ-80, МТЗ-80Л, МТЗ-82, МТЗ-82Л, МТЗ-82Н, МТЗ-82Р.– Мн.: Ураджай, 1992.–С. 168

Наличие в республике ПО "Гидроавтоматика" дает возможность полностью отказаться от необходимости восстановления гидрораспределителей на специализированных ремонтных заводах, так как по результатам опроса группы ИТР хозяйств качество ремонта гидрораспределителей устраивает всего 7,6 % хозяйств.

Таким образом, поставка хозяйствам ремонтных комплектов дала бы возможность восстанавливать более половины гидрораспределителей собственными силами, а хонингование корпусов гидрораспределителей, изготовление золотников ремонтного размера может осуществляться на ПО "Гидроавтоматика", специалисты которого, на наш взгляд, справедливо не признают гальванизацию золотников, как метод их восстановления, считая, что надежнее и не намного дороже изготавливать золотники новых ремонтных размеров.

## СОДЕРЖАНИЕ

Рекомендации .....	3
<b>Жизнь и творческое наследие первого ректора БИМСХ – профессора, доктора технических наук Суслова В. П.</b> .....	<b>8</b>
<b>ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНО-ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА</b> .....	<b>10</b>
Проблемы повышения эффективности ремонтно-обслуживающего производства на основе развития технического сервиса в АПК Республики Беларусь <i>Миклуш В.П.</i> .....	10
Централизованное техническое обслуживание тракторов и комбайнов <i>Сидорчук А.В., Сидорчук В.Л., Кухарук А.В., Цип Е.И.</i> .....	14
Компактная организация ремонтно-обслуживающего производства методом выделения инвариантов <i>Свицкий Д.Н.</i> .....	15
Особенности оценки эффективности инвестиционных вложений в ремонтно-обслуживающем производстве <i>Штомпель Б.Н.</i> ....	16
Определение сравнительной чистой дисконтированной стоимости по приведенным затратам <i>Штомпель Б.Н.</i> , .....	18
Организационно-технологические принципы создания ресурсосберегающей системы ремонта дизельных двигателей <i>Сидорчук А.В., Тымочко В.О., Сенчук С.Р.</i> .....	20
Условия и критерии удовлетворения гарантийной продолжительности обезличенного ремонта агрегатов машин <i>Семкович А.Д., Кузьминский Р.Д.</i> , .....	22
Информационно-управляющая система ремонтно-обслуживающего производства. <i>Кухта С.В., Хейфец М.Л., Яскевич В.В. Полоцкий государственный университет</i> .....	
Определение фонда запасных частей в эксплуатационный период <i>Науменко А.А., Полиский А.Я., Омельченко Л.В.</i> .....	26
Особенности обоснования производственной программы мотороремонтных предприятий в рыночных условиях <i>Миклуш В.П., Петух С.Н.</i> , .....	30
Оптимизация резерва составных частей для обеспечения работоспособности машин технологических комплексов <i>Миклуш В.П., Круглый П.Е.</i> .....	32

Оптимизация транспортного хозяйства ремонтно-обслуживающего предприятия <i>Круглый П.Е., Круглый С.И.</i> .....	33
К обоснованию структуры дилерской службы при техническом сервисе в АПК. <i>Петух С.Н.</i> .....	35
Экологические требования к функционированию ремонтно-обслуживающего предприятия. <i>Мисун Л.В., Белаи А.И., Милаш Е.А., Дубновицкий Ю.С.</i> .....	37
Эксплуатационная надежность машин для посадки и уборки ягод <i>Мисун Л.В.</i> .....	40
Повышение эффективности ремонтного производства путем внедрения эколого-энергетических методов утилизации жидких отходов ремонтного предприятия. <i>Доморацкий В.В.</i> .....	41
Обкатка ДВС: Совершенствование процесса с использованием микропроцессорной техники. <i>Чудук С. А.</i> .....	42
Эффективность ремонтно-обслуживающего процесса при эксплуатации дизлектрического сепаратора на сыпучих смесях <i>Тарушкин В.И., Городецкая Е.А.</i> .....	44
Конструктивно-ремонтные аспекты двигателей внешнего сгорания (стирлинга) <i>Р.Едлински</i> .....	46
Повышение энергоэкономической эффективности электроприводных машин <i>Кудрявцев И. Ф.</i> .....	49
Маркетинговая деятельность предприятий технического сервиса <i>Королев А.В.</i> .....	51
Автоматическая система оптимального управления параметрами моющих растворов <i>Бохан Н. И.</i> .....	52

## **МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ**

Порошок из металлической стружки для нанесения антифрикционных и антикоррозионных покрытий <i>Благодарный В.М., Ильющенко А.Ф., Оковитый В.А.</i> .....	60
Технология и производство литых заготовок для ремонта дизельных двигателей. <i>Андрушевич А.А., Казаневская И.Н., Чурик М.Н., Бикаев А.Г.</i> .....	61

К вопросу получения литых пористых проницаемых материалов на основе алюминиевых сплавов. <i>Андрушевич А.А., Капцевич В.М., Ахремчик И.В.</i> .....	64
Регулирование структуры и управление свойствами фильтрующих материалов. <i>Капшевич В.М., Корнеева В.К., Кусин Р.А.</i> .....	65
Структура и состав покрытий из порошков быстрорежущих сталей, полученных различными методами электромагнитной наплавки <i>Романова Т.К.</i> .....	66
Математическая модель диффузии легирующих элементов при электромагнитной наплавке <i>Романова Т.К., Ефремов В.И., Хилько Д.Н.</i> .....	68
Использование систем контроля с адаптивной связью в процессах восстановления деталей сельскохозяйственных машин покрытиями из порошковых материалов <i>Худолей А.Л., Кузнецик О.О., Пресняков Г.А.</i> .....	70
Некоторые особенности применения технологии обработки конструкционных материалов полимерно-абразивными волоконными композитами <i>Устинович Д.Ф.</i> .....	71
Износостойкие полимерные композиционные материалы для фрикционных узлов сельхозмашин. <i>Левин И.А., Сергиенко В.П.</i> .....	73
Износостойкие полимерные покрытия для узлов трения тракторов МТЗ <i>Гартман Е.В., Миронович Л.Л., Фалинская И.Н.</i> .....	75
Восстановление изношенных деталей в псевдосжиженном слое <i>Миронович Л.Л., Гартман Е.В., Фалинская И.Н.</i> .....	76
Новые фрикционные безасбестовые материалы и особенности выбора армирующих волокон для них <i>Злотников И.И., Пискунов С.В.</i> , .....	77
Технология лазерной закалки тонких стальных пластин <i>Боровицкая Т.В., Шумов О.В.</i> .....	78
Применение плазменно-вакуумных технологий для повышения эксплуатационных свойств прецизионных пар топливной аппаратуры дизелей. <i>Лойко В.А., Хармач Б.Э.</i> .....	79
Диффузионное легирование с использованием обмазок. <i>Боровицкая Т.В., Шумов О.В.</i> , .....	80
Выбор материалов для изготовления деталей синусошарикового редуктора. <i>Макаревич Д.М., Лустенков М.Е.</i> .....	81

Исследование структуры композиционных электрохимических материалов на основе железа. <i>Дубинский Н.А.</i> .....	82
Описание процесса образования композиционных электрохимических материалов <i>Дубинский Н.А.</i> .....	85
Анализ влияния составляющих экзотермических смесей для обработки силумина АК 7. <i>Липиньски Томаш,</i> .....	87
Электромагнитная наплавка легированных порошков на железной основе <i>Кожуро С.Л.</i> .....	90
Новые методы формирования резиновых уплотнителей для машиностроения <i>Седлярова С.Н.</i> ,.....	91
Пористые проницаемые материалы из металлических порошков и области их применения <i>Кусин Р.А., Капцевич В.М., Корнеева В.К.</i> .....	94
Повышение эксплуатационных свойств деталей автомобилей <i>Ракомсин А.П., Митрофанова А.Б., Хейфец М.Л.</i> ,.....	101
Прессование сложных порошковых изделий. <i>Голубев А.Н.</i> ,.....	103
Загрязненность масел. <i>Калиновский В.Р., Кусин Р.А., Дечко Н.А.</i> .....	104
Фильтры для очистки отработанных моторных масел <i>Капцевич В.М., Калиновский В.Р., Крутов А.В. Дечко Н.А., БАТУ</i> .....	105
Структурная схема гибкого производственного модуля <i>Акулович Л.М., Ракомсин А.П., Кожуро Л.М., Крутов А.В.</i> .....	107
Упрочнение деталей машин электромагнитной наплавкой <i>Ракомсин А.П.</i> .....	111
Структура и фазовый состав покрытия, полученного электромагнитной наплавкой с поверхностным пластическим деформированием <i>Ракомсин А.П., Сидоренко М.И.</i> .....	112
Тепловая модель в зоне кромки при заточке сегментов <i>Ефремов В.Д.</i> .....	113
Деление металлопроката на мерные заготовки <i>Сидоренко М.И.</i> .....	117
Радиально-шпунжерные планетарные передачи в приводах оборудования для восстановления поверхностей <i>Пашкевич А.М.</i> .....	118
Волновой редуктор для приводов технологического оборудования <i>Пашкевич М.Ф., Малявко С.С., Пашкевич А.М.</i> .....	119

Устройство для исследования сил при срезании растений <i>Ефремов В.Д., Ходосевич В.И., Рубацкий С.П.</i> , .....	121
Влияние механической обработки на остаточные напряжения покрытий, полученных электромагнитной наплавкой с поверхностным пластическим деформированием. <i>Кожуро С.Л.</i> .....	123
Оценки эксплуатационных показателей алмазных шлифовальных кругов при обработке износостойких покрытий <i>Яцерицын П.И., Кожуро С.Л., Шадуя В.Л.</i> .....	124
Финишная обработка сферических поверхностей в машиностроительном комплексе АПК. <i>Гальго В.И., Сергеев Л.Е.</i> .....	127
Повышение эксплуатационных свойств сопрягаемых поверхностей после финишной обработки. <i>Гальго В.И., Сергеев Л.Е.</i> .....	129
Упругие свойства и коэффициент теплового расширения легированных порошков на железной основе <i>Кожуро Д.Л.</i> .....	130

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Восстановление деталей – важнейшее направление ресурсосбережения при ремонте машин. <i>Батищев А.Н.</i> .....	133
Восстановление и упрочнение деталей электроискровым методом <i>Бурумкулов Ф.Х., Лялякин В.П.</i> .....	134
Восстановление и упрочнение почворезущих элементов диффузионным намерзанием износостойкими сплавами. <i>Бетень Г.Ф.</i> .....	137
Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники электромагнитной наплавкой <i>Капцевич В.М., Кожуро Д.Л.</i> .....	140
Основы выбора технологии и оборудования для восстановления деталей. <i>Иванов В.П.</i> .....	142
Повышение износостойкости конструкционных сталей поверхностным легированием. <i>Подлекарев Н.Н.</i> .....	145
Восстановление плунжерных пар топливных насосов дизельных двигателей. <i>Крез А.И., Макаревич Д.М.</i> .....	146
К вопросу восстановления деталей машин и механизмов <i>Третьяк М.С., Чупрасов В.В., Присмотров А.А., Лупсякова О.Ф.</i> .....	147

К вопросу о повышении надежности и ресурса работы деталей узлов трения <i>Кобяк Ю.Г.</i> .....	149
Технология и оборудование для восстановления и изготовления подшипников скольжения сельскохозяйственных машин <i>Кашицин Л.П., Худoley А.Л., Сосновский И.А., Клименко С.Е.</i> .....	150
Восстановление и изготовление детали методом одновременного нанесения покрытий разной твердости на различные её поверхности <i>Гафо Ю.Н., Широкий И.В., Сосновский А.В.</i> .....	152
Использование статистических методов контроля качества для управления процессом восстановления деталей <i>Косяк Л.Н., Кухта С.В., Хейфец М.Л.</i> , .....	153
Применение ультразвука при восстановлении и упрочнении деталей сельскохозяйственной техники. <i>Ефремов В.И., Хилько Д.Н., Реляво А.Е.</i> ..	155
Термомеханическое упрочнение и восстановление поверхностей в электромагнитном поле. <i>Акулович Л.М., Кожуро Л.М., Иванов И.А., Мрочек Ж.А.</i> .....	156
Ресурсосберегающая технология скоростного железнения при восстановлении внутренних поверхностей деталей. <i>Юдин В.М., Веселовский Н.И.</i> .....	159
Обновление изношенных автомобильных деталей с внутренними эвольвентными шлицами. <i>Князев В.Н.</i> .....	160
Исследование влияния термообработки на свойства газопламенных покрытий из самофлюсующихся сплавов. <i>Осучукву В. Ч.</i> .....	163
Восстановление изношенных деталей в псевдосжиженном слое <i>Миронович Л.Л., Гартман Е.В., Фалинская И.Н.</i> , .....	165
Точность алмазного выглаживания восстановленных поверхностей <i>Гроскрейц Г.Л.</i> , .....	166
Нанесение антифрикционных покрытий из трехкомпонентных сплавов методом электрохимического осаждения при восстановлении вкладышей подшипников скольжения. <i>Степанова Л.И., Пуровская О.Г., Комаровская Я.Д., Иванов В.П., Подосетников М.В.</i> .....	167
Применение виброакустических систем с программно- перестраиваемыми РС-фильтрами при ремонте и обслуживании сельскохозяйственных машин. <i>Кузничик О.О., Пресняков Г.А.</i> , .....	169

Оценка кинематической точности механических передач в технологическом оборудовании для восстановления поверхностей <i>Капитонов А.В.</i> .....	170
Методы и средства оценки кинематической точности приводов в ремонтном производстве. <i>Пашкевич А. М.</i> .....	171
Решение проблем ремонта и обслуживания экструдеров пищевого назначения зарубежными машиностроительными фирмами <i>Алексеева Е.И.</i> .....	172
Обезвреживание сточных вод с отходами гальванопроизводства. <i>Семенов В.И.</i> .....	175
Высокомоментный балонный ключ для грузовых автомобилей. <i>Крез А.И., Лустенков М.Е.</i> .....	176
Использование метода ремонтных комплектов при восстановлении гидравлических распределителей. <i>Вербицкий М.А.</i> .....	177



*Научно-производственное издание*

**Современные технологии в ремонтно-обслуживающем  
и машиностроительном производстве АПК**

Тематический сборник

Ответственный  
за выпуск  
Редактор  
Корректор

В.Г. Андруш  
Д.Н. Хилько  
С.Н. Петух

Подписано в печать 21.03.2000 г. Формат 60x84/16  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл.п.л.10,97 Тираж 200 экз. Заказ **282**

Отпечатано на УП "Технопринт"  
Лицензия ЛП № 203.  
пр. Ф. Скорины, 65, корп. 14, комн. 209