

РЕСУРСО-ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И УПРОЧНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫМИ СПЛАВАМИ

В. М.
Константинов,

кандидат
технических наук,
профессор
кафедры
«Технология
конструкционных
материалов».

Полоцкий
государственный
университет

Изложены методологические и технологические основы технико-экономического эффективного синтеза восстановительно-упрочняющих покрытий из диффузионно-легируемых сплавов. Предложены пути ресурсо-энергосбережения в восстановительно-упрочняющих технологиях за счет широкого использования сырьевых возможностей предприятия, в частности путем применения металлоотходов. Приведены примеры разработанных технологий для различных предприятий Беларуси.

Введение. Эффективным направлением повышения долговечности машин и механизмов было и остается восстановление и упрочнение быстроизнашиваемых деталей. Для различных исторических периодов были характерны различные направления исследований и разработок восстановительно-упрочняющих технологий. В относительно благополучный советский период значительное внимание уделялось высокопроизводительным технологиям и высокоэффективным материалам. Характерной особенностью тех разработок были экстремально высокие свойства получаемых покрытий и, в ряде случаев, игнорирование экономических факторов. Именно в этот период получили широкое распространение эффективные, но дорогостоящие никелевые самофлюсующиеся порошки [1]. Выпуск этих порошков был организован на Торезском заводе никелевых сплавов (ТЗИТС) и НПО «Тулачермет» по лицензии фирмы «Castolin». Нарастание кризисных явлений выдвинуло на первый план экономические показатели восстановительно-упрочняющих технологий. Экономические и производственные условия современной Беларуси обуславливают неэффективность традиционного подхода к восстановительно-упрочняющим технологиям, предусматривающего приобретение и рецептурное применение универсальных самофлюсующихся сплавов. Альтернативой традиционным самофлюсующимся сплавам стало создание технологических основ получения самофлюсующихся стальных порошков диффузионным боросилицированием в порошковых насыщающих средах [2]. Получаемые диффузионно-легируемые (ДЛ) самофлюсующие порошки имеют композиционное строение и состоят из ядра и диффузионной оболочки, содержащей бор и кремний. Химический и фазовый состав ДЛ-порошков можно регулировать технологическими режимами диффузионного легирования. Эффективность примене-

ния ДЛ-порошков обусловлена следующими их преимуществами:

- возможностью введения легирующих элементов в широком диапазоне;
- отсутствием выгорания легирующих элементов;
- наличием градиента химического состава по сечению частиц порошка;
- возможностью получения наплавленных покрытий с высокими эксплуатационными свойствами.

Первый вариант технологии предусматривал диффузионное легирование бором и кремнием стального порошка в порошковой неспекаемой смеси на основе карбида бора и карбида кремния с последующей магнитной сепарацией. В начале 90-х годов указанная технология была усовершенствована и получила определенное промышленное внедрение на ряде предприятий Беларуси. К этому времени была выполнена подготовка серийного выпуска ДЛ-порошков на Молодеченском заводе порошковой металлургии, разработаны технические условия на ДЛ-порошки [3].

Энерго-ресурсосберегающая направленность развития белорусской промышленности потребовала существенной модернизации методического и технологического подходов к получению восстановительно-упрочняющих покрытий из ДЛ-сплавов. Ресурсо-энергосберегающим аспектам теории и технологии диффузионного легирования сплавов для защитных покрытий посвящена настоящая статья.

1. Системный подход к получению диффузионно-легируемых сплавов и защитных покрытий из них.

В древности кузнечная наварка, как разновидность наплавки, использовала один тип «наплавочного» сплава — науглероженные стальные пластины. М.Ф.Гурин отмечал, что значительная часть ножей археологических раскопок Полоцкой земли имеют наваренные пластины с зав-

тектоидным содержанием углерода [4]. Проблема разработки специальных сплавов для защитных покрытий возникла в первые десятилетия XX века одновременно с первыми промышленными опытами по наплавке [5]. Лидирующее место в методах разработки упрочняюще-восстановительных технологий занял рецептурный подход. Характерной особенностью рецептурного подхода является приоритетное использование указаний, технических рекомендаций, отраслевых стандартов и других рекомендуемых технологических документов. На принципах рецептурного подхода построено большинство справочников и каталогов по сплавам для защитных покрытий [6-10]. В общем случае рецептурный подход предполагает два основных этапа выбора сплава:

– определение по предполагаемым признакам доминирующего вида изнашивания упрочняемой или восстанавливаемой поверхности детали;

– выбор из предлагаемого перечня наиболее подходящего сплава.

Противоречивость и ограниченность рецептурного подхода признается самими авторами рекомендаций. Противоречие между многообразием конкретных производственных ситуаций изнашивания и ограниченностью номенклатуры сплавов для защитных покрытий решается традиционно — компромиссом между специализацией сплава и его универсальностью. Избыточность свойств универсальных сплавов повышает их стоимость. Характерным примером таких сплавов являются известные никелевые самофлюсующиеся сплавы типа «Colmonoy». Существенным недостатком рецептурного подхода является игнорирование системной иерархии упрочняемой детали в механизме или машине и, как следствие, несогласованность технико-экономических показателей в системе. Специфическим для условий Беларуси недостатком рецептурного подхода является отсутствие большинства отечественных сплавов для защитных покрытий.

Отметим однако, что рецептурный подход создания восстановительно-упрочняющих технологий и соответствующих сплавов доказал свою эффективность в условиях плановой экономики и специализированных ремонтных предприятий. Для этих условий оправданными были создание и серийный выпуск специальных сплавов для восстановления конкретных деталей. В свое время был создан и массово выпускался ряд таких сплавов. В современных экономичес-

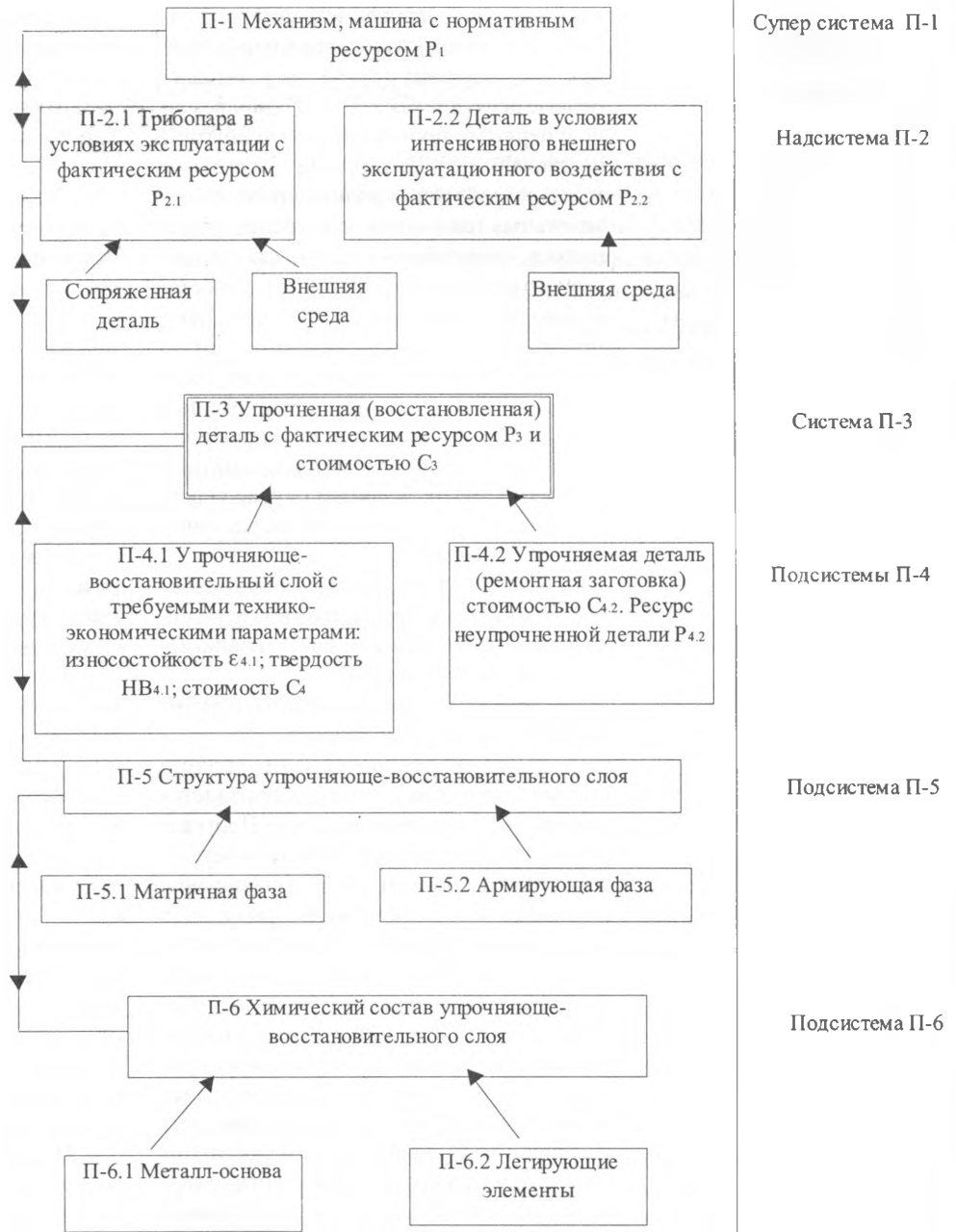
ких условиях рецептурный подход малоэффективен. Существует острая потребность в гибком, адекватном технико-экономическим требованиям проектированию технологий и сплавов для конкретных производственных ситуаций.

Детальное рассмотрение восстановительно-упрочняющих технологий и соответствующих сплавов обнаруживает признаки системы: они представляют собой единое целое, состоящее из составных частей, выполняющих общую задачу [11]. Техническая система «восстановительно-упрочняющая технология» является сложноорганизованной иерархической системой. Она состоит из элементов, закономерно организованных в пространстве (упрочняемая деталь → узел → машина) и во времени (технология нанесения защитного покрытия). По сути, речь идет о двух самостоятельных, но активно взаимодействующих системах: пространственной и временной [12].

Пространственная структура системы описывает пространственное (конструктивное) взаимодействие различных элементов (рис. 1). Очевидно, что собственно упрочненная деталь иерархически подчинена надсистеме П-2. Указанная подчиненность предопределяет доминирующую роль надсистемных требований к упрочняемой детали. Возможны два вида организации надсистемы П-2: деталь в составе трибопары и деталь под воздействием внешнего агрессивного воздействия. Соответственно все многообразие деталей, подлежащих восстановлению и упрочнению, можно разделить на две большие группы (надсистемы П-2.1 и П-2.2).

Надсистема П-2.1. Подвергаемая упрочнению деталь в этом случае является частью трибосопряжения, которое входит в состав машины или механизма. Деталь находится под отрицательным воздействием контртела и окружающей среды. Примерами таких трибосопряжений являются различные подшипники скольжения, подвижные соединения, кривошипно-шатунные механизмы. Выделим характерные особенности рассматриваемых деталей. а) Поскольку восстанавливаемая деталь является частью механизма, то ее ресурс должен быть согласован с ресурсом всего агрегата. Т.е. ресурс детали должен быть кратен межремонтному ресурсу агрегата [13]. Таким образом, минимальное рациональное повышение ресурса восстанавливаемой детали должно быть двукратным по отношению к исходной детали. На наш взгляд двукратное, а тем более трехкратное

Рис. 1
Пространственная
структура системы
«упрочненная
деталь»



повышение ресурса восстанавливаемой детали по отношению к новой — чрезвычайно дорогая как технически, так и экономически задача. Представляется целесообразным при восстановлении этих деталей обеспечивать ресурс, эквивалентный ресурсу новой детали:

$$P_3 \approx P_1$$

В этом случае единственным путем повышения эффективности восстановительно-упрочняющих технологий является снижение сырьевых и энергетических затрат на восстановление деталей при сохранении требуемого уровня эксплуатационных свойств.

Поскольку рассматриваемая деталь является частью трибосопряжения, то необходимо учитывать ресурс трибосопряжения с восстановленной деталью ($P_{2.1}$). С этой точки зрения излишнее повышение ресурса восстановленной детали зачастую является вредным, т.к. повышение физико-механических свойств поверхности восстановленной детали неизбежно ведет к интенсификации изнашивания сопрягаемой детали, а следовательно, уменьшению ресурса всего трибосопряжения.

Надсистема П-2.2. Для деталей второй группы характерно отсутствие трибопары в традиционном понимании. Такие детали

подвержены только разрушающему воздействию внешней среды. Характерным примером таких деталей являются рабочие органы почвообрабатывающего оборудования (лемеха плугов, лапы окучников и т.д.). К этой же группе следует отнести рабочие инструменты штамповой оснастки (пуансоны, ножи), детали дробеметных аппаратов и др.

Укажем особенности деталей второй группы:

а) детали подвержены интенсивному внешнему воздействию, как правило, изнашивающего характера. Интенсивность изнашивания деталей велика. Так, например, за сезон на тяжелых почвах полностью изнашивается несколько комплектов плужных лемехов, а стойкость дробеметных лопаток из серого чугуна не превышает 1-2 смен. В то же время ресурс агрегата напрямую лимитирован ресурсом этой быстроизнашиваемой детали, т.к. $P_1 \gg P_{22}$ (рис. 1);

б) эти детали являются быстроъемными, и затраты на замену изношенной детали в большинстве случаев пренебрежительно малы. Детали относительно дешевы (плужной лемех — 5000...7000 руб., на 01.01.2002 г.), поэтому применение дорогостоящих сплавов для упрочнения экономически нецелесообразно.

Деталь с нанесенным защитным слоем (П-3) в свою очередь является надсистемной для низлежащих звеньев (подсистемы П-4, П-5, П-6). Ключевой подсистемой в этом блоке является структура упрочняюще-восстановительного слоя (П-5). Принципиально возможны два основных вида структур: гомогенные (П-5.1) и гетерогенные (П-5.1+П-5.2). Наибольшее распространение в силу высоких эксплуатационных свойств для указанных целей получили гетерогенные покрытия и слои [3]. Анализ литературных данных и собственные исследования позволяют выделить следующие основные пути гетерогенизации структуры восстановительно-упрочняющих слоев и покрытий:

- создание эвтектических композиций;
- получение метастабильных пресыщенных твердых растворов и их последующая гетерогенизация;
- сохранение исходной композиционности строения наносимых частиц при отсутствии их полного расплавления в процессе формирования покрытия.

Выполненный анализ пространственной структуры технической системы позволяет классифицировать ее как многоуровневую иерархическую, с жесткой доминантой надсистемных требований. Приоритетное влияние надсистемных требова-

Рис. 2. Временная структура системы при рецептурной технологии получения восстановительно-упрочняющего слоя

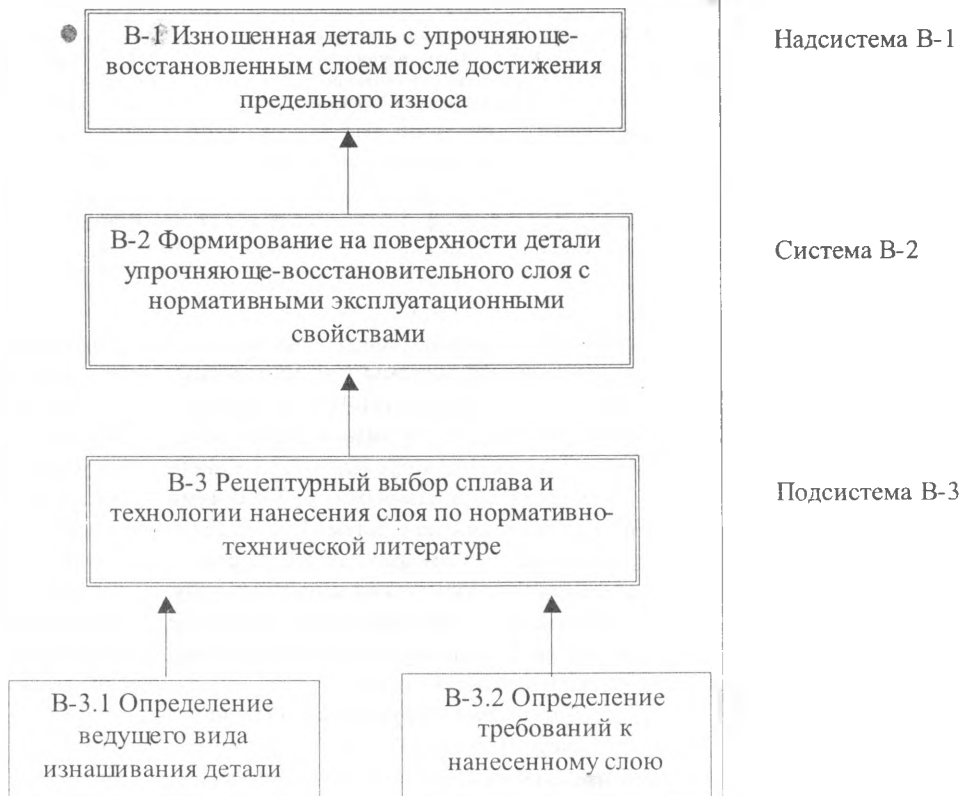
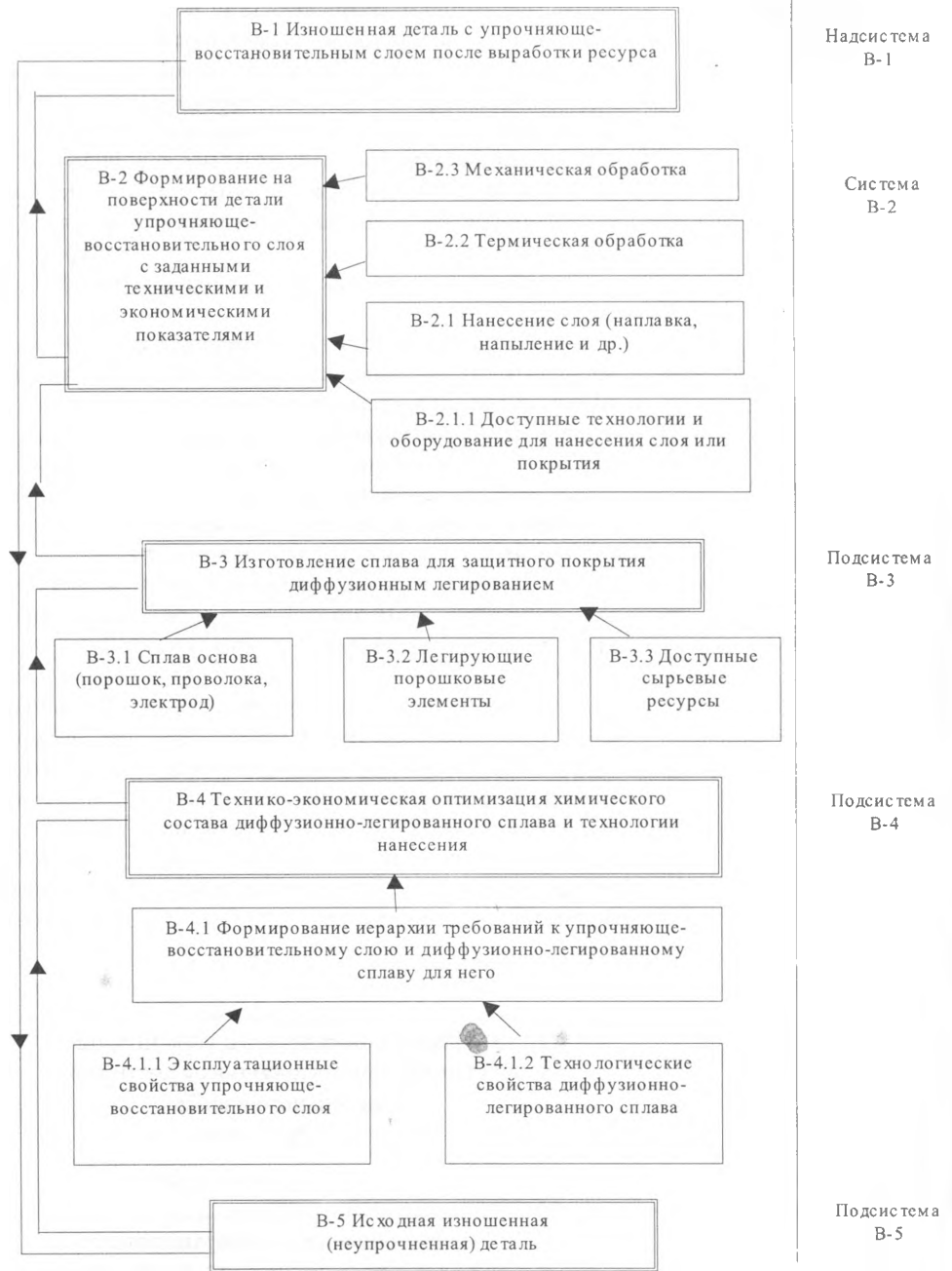


Рис. 3. Временная структура системы в соответствии с разработанным технологическим подходом созданию восстановительно-упрочненного слоя



ний определяет весь смысл существования анализируемой системы. Свойства защитного слоя (подсистема П-4), его структура (подсистема П-5) и химический состав (подсистема П-6) определяются в конечном счете надсистемными требованиями всего механизма (надсистема П-1). С предложенных системных позиций, наряду с традиционным учетом вида изнашивания, существенную роль играют согласование ресурсов и экономических показателей детали и всего механизма.

Временная структура анализируемой системы описывает хронологическое (технологическое) взаимодействие элемен-

тов системы. По сути, речь идет о системном анализе технологий формирования восстановительно-упрочняющего слоя. Поэтому целесообразно дифференцировать временные структуры, основанные на рецептурном и системном подходах (рис. 2, 3).

При господствующем в настоящее время рецептурном подходе к получению восстановительно-упрочняющего слоя временная структура системы имеет простое иерархическое строение. Обратные связи в системе, как правило, отсутствуют (рис. 2). Отметим, что надсистема В-1 (упрочненная деталь после эксплуатации в состоянии предельного износа) являет-

ся неявно выраженной и скорее подразумевается, чем реально существует в системе. Игнорирование надсистемы В-1 абстрагирует основную цель системы. На практике это выражается в компромиссном выборе сплава из ограниченного перечня по ряду субъективно назначенных критериев. Доминирующим является сам факт восстановления детали или увеличения срока ее службы. Жесткая лимитированность эксплуатационных и экономических показателей рецептурно-назначаемых сплавов и технологий лишает систему гибкости и технологической приспособляемости.

Разработанная временная структура (рис. 3) основана на принципах системного анализа [15, 16]. В определенной степени эта структура выражает системную методологию ресурсо-энергосберегающего получения ДЛ-сплавов и защитных покрытий из них. Кардинальным отличием предложенной временной структуры является конкретизация основной цели существования системы. Генеральной целью системы является не просто восстановление или упрочнение детали, а получение экономического или иного (социального, экологического и т.д.) эффекта от восстановительно-упрочняющего воздействия на быстроизнашиваемую деталь. Вся структура системы подчинена этой цели. Поэтому очевидно, что доминирующую роль занимает подсистема П-4 (технико-экономическая оптимизация сплава и технологии). Ее характерной особенностью является большое количество обратных связей с другими частями системы. Действительно, наличие объективной информации о доступных сырьевых (подсистема П-3.3) и технологических (подсистема В-2.1.1) возможностях конкретного производства позволяет повысить эффективность проектирования технологии за счет ресурсо-энергосберегающей компоненты. В целом временная структура системы является иерархической, разветвленной с развитой организацией обратных связей. По сути дела, она характеризует последовательные этапы создания экономически эффективных восстановительно-упрочняющих технологий, примеры которых рассмотрены ниже. Предложенный подход позволяет реализовать адаптивное, гибкое проектирование сплава и технологии.

2. Интенсификация процессов диффузионного легирования сплавов для защитных покрытий.

Энергосбережение в процессах химико-термической обработки (ХТО) по-прежнему остается актуальной проблемой [17]. Интенсификация процессов ХТО и, в частности процессов диффузионного легирования сплавов для защитных покрытий является резервом повышения эффективности восстановительно-упрочняющих технологий. Проведенный комплекс исследований процессов диффузионного легирования микрообъектов (металлические порошки и проволоки) позволил предложить эффективные пути интенсификации этих процессов. Такими путями для металлических порошков являются псевдосжижение порошковой смеси в процессе обработки и предварительное окисление поверхности порошка. Техническая реализация вышеназванных путей интенсификации — диффузионное легирование (ДЛ) металлических порошков в псевдосжиженном слое, полученном вращением цилиндрического контейнера в течение изотермической выдержки при температуре диффузионного взаимодействия [18].

При ДЛ металлических порошков в поверхностных слоях частиц подвижной порошковой смеси в ходе обработки протекают процессы пластической деформации, рекристаллизации, полигонизации, диффузии атомов, как в тело частиц, так и в реакционный объем контейнера. Происходит значительная интенсификация процесса, обусловленная следующими факторами [19–21]:

- интенсификация процесса образования активных атомов легирующего элемента вследствие циклической пластической деформации частиц насыщающей смеси;
- интенсификация процессов тепло-массообмена вследствие постоянного движения и контактирования частиц смеси между собой в процессе обработки;
- интенсификация диффузионного массопереноса циклическим протеканием деформационно-рекристаллизационных процессов в поверхностных слоях частиц насыщаемых порошков в процессе обработки.

Установлено, что лимитирующей элементарной стадией обработки становятся сорбционные процессы на поверхности обрабатываемых частиц. Рациональное предварительное окисление металлического порошка активизирует сорбционные процессы на поверхности частиц. В этом случае преобладающими являются хемосорбционные

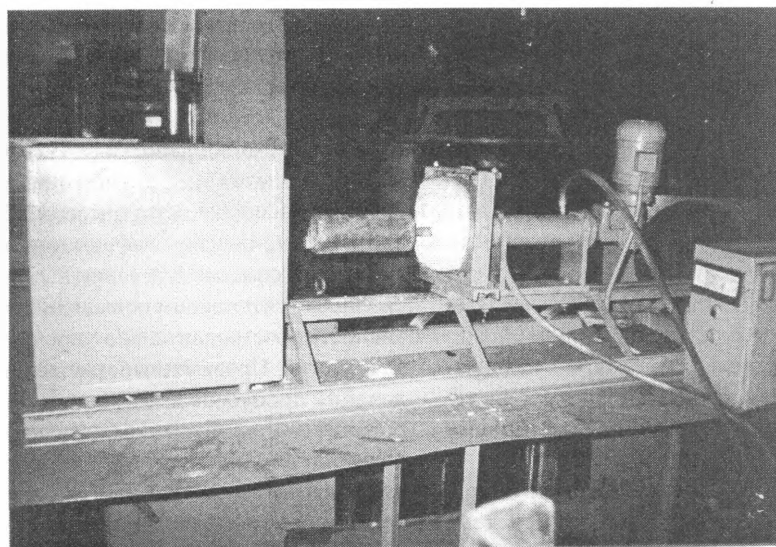


Рис. 4. Внешний вид установки диффузионного легирования наплавочных металлических порошков, изготовленной для ОАО «Минский подшипниковый завод»

процессы. В результате формирования на порошке пленки толщиной 3–4 мкм содержание бора после диффузионного легирования возрастает в 2,5–3 раза [22]. Суммарный эффект интенсифицирующих воздействий при диффузионном легировании металлических порошков — до 30 раз. При этом существенно снижаются энергозатраты.

Для реализации разработанной технологии диффузионного легирования было разработано несколько конструктивных исполнений установок в зависимости от требуемой производительности и технических возможностей конкретного предприятия. Для условий ремонтной службы ОАО «Минский подшипниковый завод» была спроектирована и изготовлена установка малой мощности (рис. 4).

Конструктивно установка состоит из термической печи и помещаемого в нее вращающегося герметизируемого контейнера с приводом вращения и системой охлаждения приводного вала. Технические характеристики установки:

- рабочая температура диффузионного легирования 600–1000 °С;
- рабочая частота вращения контейнера 80 мин⁻¹;
- объем контейнера 0,75 дм³;
- производительность установки 1,0 кг/ч.

3. Применение стружечных металлоотходов для получения ДЛ-сплавов и защитных покрытий из них.

Важным резервом ресурсосбережения в восстановительно-упрочняющих технологиях является использование в качестве сырья для порошков и покрытий дисперсных стружечных отходов. Проблема эффективного рециклинга металлической

стружки посвящено много работ, количество которых увеличивается из года в год. Причин этому несколько. Сложная экономическая ситуация стимулирует поиск альтернативных сырьевых источников. Разнообразие металлоотходов позволяет находить и разрабатывать новые технологические схемы переработки и области применения. Традиционная схема переработки отходов включает операции очистки, измельчения и отсева полученного порошка. Существенной особенностью является неизменность химического состава получаемого порошка. Речь идет о простом использовании сплава известного химического состава для получения защитных покрытий или композиционных материалов.

Принципиальным отличием разработанного системного подхода использования металлоотходов является регламентируемое изменение химического состава измельченной стружки методами диффузионного легирования. В описываемом случае требуемый химический состав ДЛ-сплава технологически формируется в результате суммирования двух групп элементов:

- элементы, априори находящиеся в легированной металлической основе стружки. Опыт выполненных работ свидетельствует об эффективности применения в качестве основы сплава измельченной стружки серых чугунов, сферических отходов белых чугунов после электроэрозионной обработки, бронзовой стружки. Стоимость ДЛ-сплава в этом случае минимальна, а имеющиеся в стружке легирующие элементы открывают широкие возможности получения требуемых свойств покрытий;

- элементы, вводимые или удаляемые диффузионным путем. Предпочтение отдается однокомпонентному диффузионному легированию элементов внедрения (В, С, N). Их высокая диффузионная подвижность обеспечивает большие скорости диффузионного легирования. Диффузионное удаление легирующих элементов из порошка применяется в основном для обезуглероживания чугуновой стружки. Диффузионное обезуглероживание стружки серого чугуна СЧ-20 в подвижной смеси позволяет варьировать содержание углерода в широком диапазоне концентраций — до 0,4% (масс.) [23]. При необходимости применяют многокомпонентное диффузионное легирование, в том числе элементами замещения (Al, P, Si, Cr, Mn, Cu, Zn).

Ниже приведены некоторые примеры разработанных и частично внедренных ресурсосберегающих технологий восста-

новления и упрочнения деталей ДЛ-сплавами из металлической стружки.

3.1 Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих орудий (РОПО).

Традиционно для упрочнения наплавочной находят широкое применение порошковые твердые сплавы типа «сормайт» (ПГ-С1, ПГ-С27, ПГ-Ф5Х6-2 и др.). Относительно высокая стоимость этих сплавов на фоне низкой стоимости РОПО приводит к снижению технико-экономической эффективности упрочняющих технологий. Радикального снижения стоимости наплавочных сплавов и одновременного повышения эффективности упрочнения удалось добиться благодаря разработке и применению диффузионно-легированной чугуновой стружки [24]. В качестве сырья возможно использование измельченной стружки

счет эффекта самозатачивания, составляющей 10–15%.

3.2 Антифрикционные газотермические покрытия из диффузионно-легированной чугуновой стружки.

Традиционными сплавами для ряда подшипников скольжения являются антифрикционные бронзы. Их замена на более доступные сплавы при сохранении уровня свойств в восстановительных технологиях является существенным ресурсосберегающим фактором. В последние годы ведутся интенсивные исследования в области трибоматериаловедения нового класса композиционных материалов, синтезированных на основе серых чугунов с добавлением легирующих элементов.

Методология диффузионного легирования стала основой разработки технологии

Таблица 1

Технико-экономическая эффективность использования плужных лемехов*

Наименование технико-экономического показателя	Единица измерения	Материал рабочей поверхности лемеха		
		сталь Л53	сормайт С1	диффузионно-легированный сплав
Твердость рабочей зоны лемеха	HRC _Э	45...50	48...52	48...54
Выработка лемеха на песчаных и супесчаных почвах	Га	9...12	47...51	50...54
Выработка лемеха на дерново-подзолистых почвах	Га	11...13	22...24	24...26
Стоимость плужного лемеха	руб.	7248	11350	10760
ТЭЭ использования лемеха	руб/га	604...690	232...494	207...430

*Значение показателей на 1.10.2002 г

серых чугунов и сферических отходов электроэрозионной обработки отливок белых износостойких чугунов типа ИЧХ28Н2. К настоящему времени разработаны варианты технологии, позволяющие организовать упрочнение РОПО, как в условиях специализированных предприятий, так и в условиях ремонтных мастерских.

Создание экстремально дешевых ДЛ-сплавов из чугуновой стружки «оживило» известные технологии упрочнения РОПО. Рациональное применение ДЛ-сплавов позволяет более чем в 2 раза повысить технико-экономическую эффективность использования РОПО (табл. 1).

Ресурсо-энергосберегающее значение технологии состоит не только в импортозамещающей, высокоэффективной утилизации чугуновой стружки, но и в прямой экономии топлива при вспашке упрочненными плужными лемехами за

получения композиционных покрытий антифрикционного назначения [25, 26]. Сырьем для покрытий служит диффузионно-легированная бором и медью стружка серого чугуна. Полученное покрытие имеет твердость 100...150 НВ, прочность сцепления с подложной — до 90 МПа, пористость — 10...40%.

Антифрикционные свойства покрытия близки к свойствам антифрикционных бронз. Оно рекомендовано для восстановления и изготовления втулок и вкладышей подшипников скольжения, работающих в условиях динамических нагрузок.

3.3 Упрочнение чугуновых деталей дробебетных установок плазменным оплавлением с дополнительным легированием ДЛ-сплавами.

Детали дробебетных установок работают в жестких условиях ударного газоабразивного изнашивания. Традиционным материалом для них являются белые износостойкие чугуны. Однако вследствие того,

что эти детали дорогостоящи и, как правило, изготавливаются в России, ряд предприятий предпочитают изготавливать указанные детали собственными силами. Наиболее распространенным сплавом в этом случае является серый чугун. Катастрофически низкая стойкость таких деталей компенсируется их низкой стоимостью и большими объемами производства.

Поверхностный переплав серого чугуна с легирующими порошками позволяет придать упрочняемому слою требуемые физико-механические свойства. В результате выполненного комплекса работ разработана оригинальная ресурсосберегающая технология поверхностного плазменного оплавления быстроизнашиваемых деталей из серых чугунов с дополнительным леги-

Таблица 2

Технико-экономические показатели технологии плазменного упрочнения чугуновых деталей с дополнительным легированием ДЛ-сплавами

Показатель	Заводской техпроцесс изготовления распределительной камеры дробемета	Разработанный техпроцесс плазменного упрочнения
Твердость рабочей поверхности распределительной камеры.	200...250 НВ	50...65 HRC
Период стойкости в условиях нормальной эксплуатации суток.	3	25...30
Годовая потребность, с учетом долговечности (укрупненно), шт.	400	48...40
Заводская стоимость изготовления, руб.	18 000	32 000
Стоимость годовой партии распределительных камер дробемета с учетом долговечности (укрупненно), руб	7 200 000	1 280 000...1 536 000
Ожидаемый экономический эффект, руб.	5 920 000...5 664 000	

Таблица 3

Укрупненные технико-экономические показатели технологии плазменной наплавки инструмента штамповой оснастки для изготовления заготовок колец подшипников на линии Л-309

Наплавляемые детали штамповой оснастки	Заводской технологический процесс		Предлагаемый технологический процесс	
	Требуемое кол-во деталей штамповой оснастки на годовую программу выпуска, шт.	Принятая стойкость до замены, шт. обработанных заготовок	Требуемое количество деталей штамповой оснастки на годовую программу выпуска, шт.	Принятая стойкость до замены, шт. обработанных заготовок
Нож неподвижный	168,3	6000	21,0	48000
Нож подвижный	168,3	6000	24,6	41000
Держатель	33,6	3000	16,8	60000
Пуансон прошивной Ø37	336,6	3000	84,2	12000
Пуансон прошивной Ø50	336,6	3000	101,0	10000

рованием диффузионно-легированными сплавами из чугунной стружки [27]. Внедрение технологического процесса на ОАО «МПЗ» позволило повысить срок службы дробетных камер в 10 раз (табл. 2).

3.4 Восстановление ДЛ-сплавами инструмента горячештамповой оснастки.

Инструмент горячей штамповки колец подшипников (пуансоны, ножи и др.) является быстроизнашиваемым и дорогостоящим. По приведенной выше классификации он относится к подсистеме П-2.2 (рис. 1). Продление его срока службы за счет восстановления наплавкой ДЛ-сплавами из имеющегося на предприятии сырья существенно снижает производственные затраты. Такая работа была выполнена по заказу ОАО «Минский подшипниковый завод». В результате комплекса исследований был разработан эффективный диффузионно-легированный, дисперсионно-твердеющий сплав ПР-Х18Н9Р4Г2 для восстановления и упрочнения рабочего инструмента горячештамповой оснастки линии Л-309. Использование внутренних сырьевых ресурсов предприятия и потенциальные возможности технологии диффузионного легирования позволили существенно снизить затраты на изготовление сплава и отказаться от импортных наплавочных сплавов (табл. 3.) [28].

Заключение.

Широкомасштабное применение разработанного методологического подхода синтеза защитных покрытий из ДЛ-сплавов открывает широкие возможности ресурсо-энергосбережения при создании и освоении восстановительно-упрочняющих технологий на различных предприятиях. Основными факторами, обеспечивающими ресурсо-энергосберегающий эффект, являются активное использование внутренних сырьевых ресурсов предприятий, в частности стружечных металлоотходов, и высокая технико-экономическая эффективность восстановления и упрочнения быстроизнашиваемых деталей ДЛ-сплавами.

Литература

1. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. — Мн.: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. — С. 133.
2. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. — Мн.: УП «Технопринт», 2001. — С. 300.
3. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения

защитных покрытий с помощью ХТО. — 2-е изд., перераб. и доп. — Мн.: УП «Технопринт», 2002. — с. 175.

4. Гурин М.Ф. Кузнечное ремесло Полоцкой земли IX-XIII вв. / Под ред. Г.В. Штыхова. — Мн.: Наука и техника, 1987. — С. 151.

5. Сварка в СССР. Том 1. Развитие сварочной техники и науки о сварке. Технологические процессы, сварочные материалы и оборудование. — М.: Наука, 1981. — С. 534.

6. Наплавочные порошковые ленты и проволоки. Справочник / П.В. Гладкий, И.А. Кадрагьев, В.И. Юматова, А.Л. Жудра. — Киев: Техника, 1991. — С. 36.

7. Product catalogue, 1998 edition-Goteborg; ESAB International AB, 1998. — P. 266.

8. Шнуровые материалы для газотермических покрытий. Каталог РФП «Техникорд», — М.: Техникорд, 1999. — С. 10.

9. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник/ Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.А. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская, К., 1987. — С. 480.

10. Электроды для дуговой сварки, наплавки и резки. Каталог ОАО «Спецэлектрод». — М.: Наука і техника, 1993. — С. 295.

11. Саламатов Ю.П. Система развития законов техники / В кн.: Шанс на приключение. Сост. А.Б. Селюцкий. — Петрозаводск: Карелия, 1991. — с. 6-168.

12. Константинов В.М. Системный подход к проектированию и получению защитных покрытий из диффузионно-легированных сплавов/ Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. научн. трудов/ Под ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя. — Мн.: Технопринт, Полоцк: ПГУ, 2001. — С. 64-71.

13. Батищев А.Л. Основание рационального способа восстановления деталей //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1992, № 9-12. — С. 30-31.

14. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И. Концепция синтеза экономно-легированных защитных слоев из диффузионно-легированных сплавов//Материалы 3-й Всероссийской научно-технической конференции «Технолог по сварочному производству промышленных предприятий, объектов энергетики и строительства». — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. — С. 149-154.

15. Слицнадель В.Н. Основы системного анализа: Учеб. пособие. — СПб.: Изд-во Дом «Бизнес-пресса», 2000. — С. 326.

16. Чихос Г. Системный анализ в триботехнике. М.: Мир, 1982. — С. 352.

17. Ворошнин Л.Г., Константинов В.М. Актуальные проблемы химико-термической обработки/ Вестник БНТУ, —2002, — №4. — С. 22-26.

18. Патент РБ №3207 МКИ В22 F1/100,9/6. Способ нанесения диффузионных покрытий на металлические порошки, преимущественно для наплавки/Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М., Штемпель О.П.

19. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И., Штемпель О.П. Ресурсо-энергосберегающая технология получения наплавочных диффузионно-легированных порошковых сплавов// Сварка и родственные технологии. Вып. №4, 2001. — С. 57–60.

20. Константинов В.М., Штемпель О.П. Изучение особенностей диффузионного легирования металлических порошков в подвижных порошковых смесях/ Сборник научных трудов «Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения». — Мн.: «Технопринт» Полоцк: ПГУ, 2001. — С. 88–93.

21. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И., Штемпель О.П. Синтез наплавочных порошков диффузионным легированием // Ремонт, восстановление, модернизация, 2002. — №5. — С. 15–18.

22. Штемпель О.П., Соколова Н.В. (рук. Константинов В.М.) Исследование интенсификации диффузионного легирования микрообъектов// Сборник научных трудов «Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения». — Мн.: Технопринт, Полоцк: ПГУ, 2001. — С. 155–158.

23. Боровицкая Т.В. (рук. Константинов В.М.), Изучение особенностей процесса обезуглероживания чугуновой стружки во вращающемся контейнере// Сборник научных трудов «Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий ма-

шиностроения». — Мн.: Технопринт, Полоцк: ПГУ, 2001. — С. 152–155.

24. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И., Жабуренко С.Н. Исследование экономно-легированных наплавочных слоев самозатачивающихся рабочих органов почвообрабатывающих машин/ Республиканский межведомственный сборник научных трудов «Сварка и родственные технологии». — Мн., 2000. — Вып. 3. — С. 102–103.

25. Константинов В.М., Сивый С.Б., Фруцкий В.А. Разработка экономно-легированных материалов для восстановления подшипников скольжения // Сборник научных трудов «Современные материалы и технологии восстановления деталей машин». — Новополоцк: ПГУ 1999. — с. 28–30.

26. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И., Фруцкий В.А. Газотермические покрытия из диффузионно-легированной чугуновой стружки как альтернатива антифрикционным бронзам/ Сборник научных трудов «Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения». — Мн.: Технопринт, ПГУ, 2001. — С. 105–110.

27. Константинов В.М., Сороговец В.И., Боровицкая Т.В. Повышение износостойкости чугуновых деталей дробебетных установок поверхностным плазменным упрочнением// Сборник «Металлургия», 2002. — С. 28–32.

28. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И., Войтехович В.А. Разработка диффузионно-легированного сплава для восстановления наплавкой инструмента горячештамповой оснастки// Ремонт, восстановление, модернизация, 2002, №8. — С. 29–33.

ОСОБЕННОСТИ ФАЗО- И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Специфические условия эксплуатации современной техники требуют создания защитных покрытий, обеспечивающих высокую стойкость к изнашиванию, повышенным температурам, окислению, механическим нагрузкам. Химический, фазовый состав, структура и физико-механические характеристики газотермических покрытий определяются состоянием частиц исходных порошков и физико-химическими превращениями, протекающими при формировании, термической обработке и эксплуатации напыленных слоев. Эффективность практического использования композиционных порошков и покрытий, полученных в плазменном потоке, обусловлена степенью неравновесности этих материалов.

В настоящей работе описан ряд самоорганизующихся процессов, приводящих к формированию необычных градиентно-слоевых структур с уникальным комплексом свойств.

Объектами исследований служили композиционные порошки на основе карбидов, боридов, оксидов алюминия, цир-

кония, титана, хрома нитрида титана и плазменные покрытия, сформированные из самофлюсующихся сплавов, упрочненных

Ч.А. Руденская,

д-р техн. наук,
главный научный
сотрудник
кафедры
технологии
конструкционных
материалов.

Полоцкий
государственный
университет