

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ЭКОНОМНО-ЛЕГИРОВАННЫХ ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ИЗ ДИФФУЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ

*Канд. техн. наук, доц. КОНСТАНТИНОВ В. М.*

*Белорусский национальный технический университет*

Решение научно-технических проблем, позволяющих создавать новые экономно-легированные сплавы и покрытия, обеспечивающие работоспособность машин и оборудования во все более экстремальных условиях эксплуатации, было и остается актуальным для большинства промышленно развитых стран. В настоящее время существует острая потребность в отечественных экономно-легированных специализированных сплавах наплавки и напыления. К основным недостаткам традиционных сплавов для защитных покрытий (порошков, проволок, наплавочных электродов) относятся: ограниченность экономически доступной номенклатуры сплавов, их универсальность и соответственно избыточность эксплуатационных свойств, а также высокая стоимость. Важным моментом в современных условиях является импортность указанных сплавов. Значительная часть анализируемых сплавов относится к высоколегированным сплавам на никелевой, кобальтовой, реже железной основах. Большинство из них были разработаны 10–50 лет назад и не отвечают современным экономическим и техническим требованиям.

Таким образом, необходимо не назначать сплавы из ограниченного, а в ряде случаев устаревшего, перечня серийно выпускаемых, а оперативно проектировать и изготавливать ограниченные партии высокоэффективных сплавов для конкретных производственных ситуаций. Один из путей решения обозначенной проблемы – создание комплекса технологий получения специализированных наплавленных слоев из диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов [1].

**Системный анализ защитных слоев из ДЛ-сплавов.** Анализ наплавленного защитного слоя с системных позиций обнаруживает наличие многоуровневой иерархической структуры,

элементы которой представляют собой единое целое, состоящее из составных частей, выполняющих общую задачу (рис. 1). Взаимное влияние отдельных составных элементов друг на друга и на систему в целом предопределяет необходимость комплексного анализа всей системы и ее отдельных элементов. Техническая система «восстановительно-упрочняющий защитный слой» является сложноорганизованной иерархической системой, состоящий из элементов, закономерно структурированных 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 (технология получения защитного слоя) [2].

Пространственная структура системы описывает пространственное (конструктивное) взаимодействие различных элементов (рис. 1). Упрочняющий слой (анализируемый элемент системы П-4.1) следует рассматривать как часть системы более высокого уровня (элемент П-3 – деталь с упрочняющим слоем). Очевидно, что собственно упрочненная деталь иерархически подчинена надсистеме П-2. Указанная подчиненность предопределяет доминирующую роль надсистемных требований к упрочняемой детали. Иначе говоря, свойства упрочненной детали определяются условием эксплуатации. Видимая тривиальность этого утверждения, тем не менее, позволяет системно проанализировать условия эксплуатации упрочненных деталей (надсистема П-2). 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 подразделить на две большие группы (надсистемы П-2.1 и П-2.2).

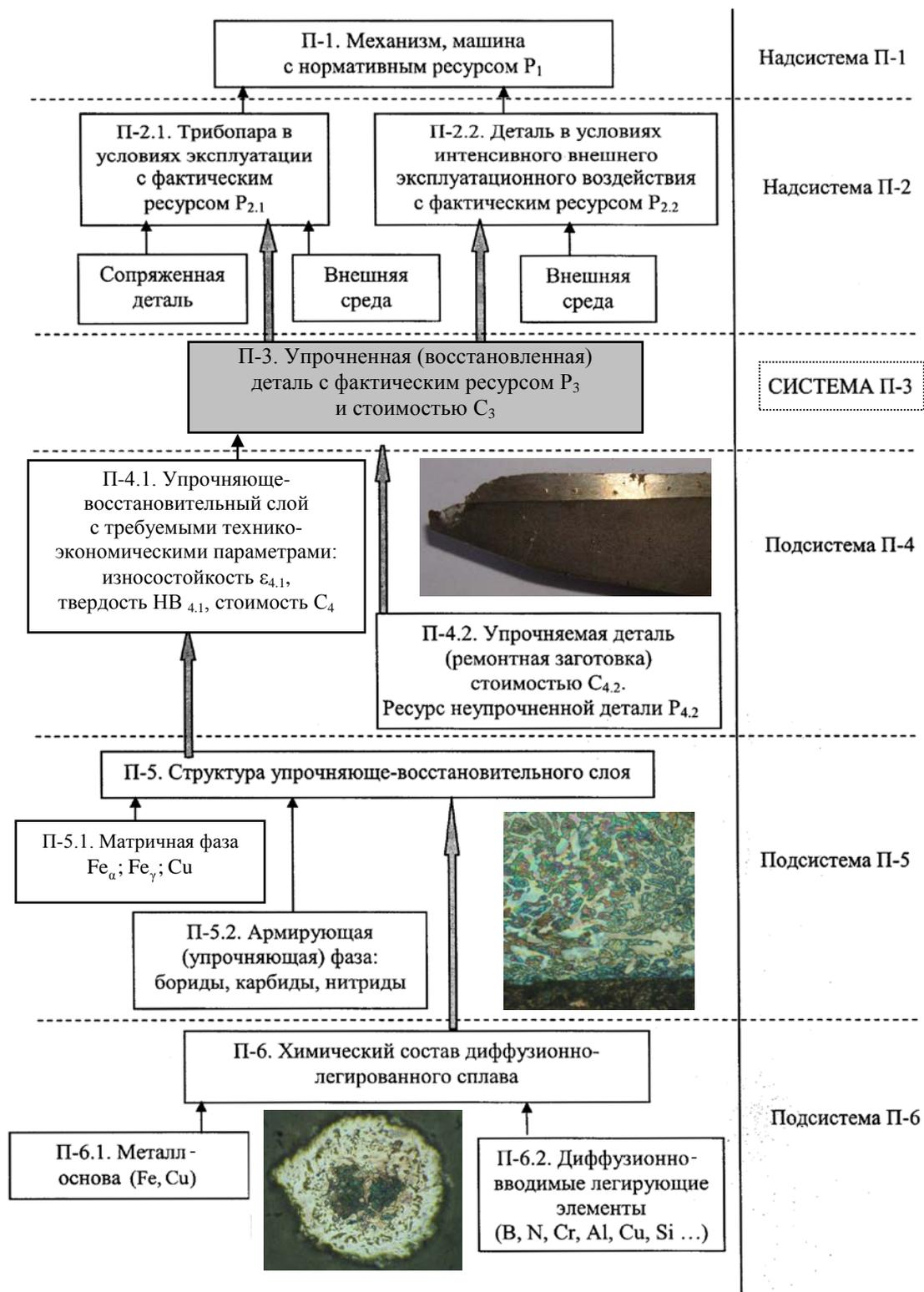


Рис. 1. Структура системы «деталь с упрочняющим слоем»

*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 служат различные подшипники скольжения, подвижные соединения, криво-

шипно-шатунные механизмы и др. Выделим характерные особенности рассматриваемых деталей:

- поскольку восстанавливаемая деталь является частью механизма, ее ресурс должен быть согласован с ресурсом всего агрегата, т. е. ресурс детали должен быть кратен межремонтному ресурсу агрегата. Таким образом, минимальное рациональное повышение ресурса восстанавливаемой детали должно быть двукратным по отношению к исходной детали. На наш взгляд, двукратное, а тем более трехкратное повышение ресурса восстанавливаемой детали по отношению к новой – задача чрезвычайно дорогая и технически, и экономически. 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-упрочняющей технологии является снижение сырьевых и энергетических затрат на восстановление деталей при сохранении требуемого уровня эксплуатационных свойств;

- поскольку рассматриваемая деталь – часть трибосопряжения, необходимо согласовывать ресурс трибосопряжения и восстановленной детали ( $P_{2.1}$ ). С этой точки зрения, излишнее повышение ресурса восстановленной детали не всегда целесообразно. Повышение физико-механических свойств поверхности восстановленной детали часто ведет к интенсификации изнашивания сопрягаемой детали, следовательно, к уменьшению ресурса всего трибосопряжения, а затраты на подобное упрочнение оказываются неоправданно высокими.

*Надсистема П-2.2.* Для деталей второй группы характерно отсутствие трибопары в традиционном понимании, они подвержены только разрушающему воздействию внешней среды. Характерным примером таких деталей являются рабочие органы почвообрабатывающего оборудования (лемеха плугов, лапы окучников и т. д.) [3]. К этой же группе следует отнести рабочие инструменты штамповой оснастки (пуансоны, ножи), электроды контактной сварки ЖБИ, детали дробебетных аппаратов и др.

Особенности деталей второй группы:

- детали подвержены интенсивному внешнему воздействию, как правило, изнашивающего характера. Интенсивность изнашивания де-

талей велика. Так, за сезон на тяжелых почвах полностью изнашиваются несколько комплектов плужных лемехов, а стойкость дробебетных лопаток из серого чугуна не превышает одной-двух смен. Кроме того, работоспособность агрегата напрямую лимитирована ресурсом этой быстроизнашиваемой детали, так как  $P_1 \gg P_{2.2}$  (рис. 1);

- детали являются быстроремонтными и затраты на замену изношенной детали в большинстве случаев малы, относительно дешевы, поэтому применение дорогостоящих сплавов для упрочнения экономически нецелесообразно.

Деталь с нанесенным защитным слоем (П-3), в свою очередь, служит надсистемой для низлежащих звеньев (подсистемы П-4, П-5, П-6), определяющих ее характеристики. 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 слои и покрытия. Анализ литературных данных и собственные исследования позволяют выделить следующие основные пути гетерогенизации структуры указанных сплавов (рис. 2.) [4]:

- создание эвтектических композиций;
- получение метастабильных пресыщенных твердых растворов и их последующая гетерогенизация термической обработкой;
- сохранение исходной композиционности строения наносимых частиц при отсутствии их полного расплавления в процессе формирования покрытия (газотермическое напыление, электроконтактная приварка).

Факторами, определяющими структурообразование упрочняющего слоя, являются химический состав и технология формирования слоя (подсистема П-6).

Выполненный анализ пространственной структуры технической системы позволяет классифицировать ее как многоуровневую иерархическую, с жесткой доминантой надсистемных требований. Приоритетное влияние надсистемных требований (эксплуатационные свойства упрочненной детали, согласованные с ресурсом всего агрегата) определяет весь смысл существования анализируемой системы.

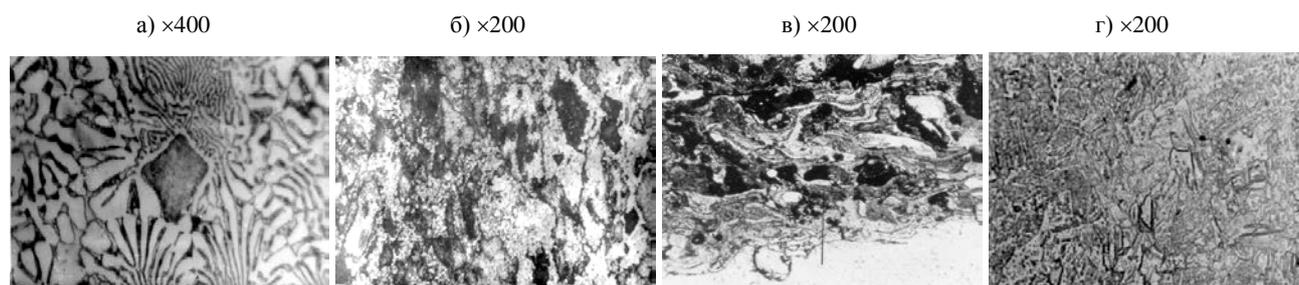


Рис. 2. Гетерогенные структуры износостойких слоев и покрытий из ДЛ-сплавов: а – наплавленный слой из борированной стружки серого чугуна; б – покрытие, полученное электроконтактной приваркой борированного порошка железа; в – газотермическое антифрикционное покрытие из диффузионно-легированной бором и медью порошка стружки серого чугуна; г – наплавленный слой из диффузионно-легированной хромом и бором медной проволоки после закалки и отпуска

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). В предложенных системных позициях, наряду с традиционным учетом вида изнашивания, существенную роль играют согласование ресурсов и экономических показателей детали и всего механизма, что позволяет реализовать адаптивное, гибкое проектирование сплава и технологии для конкретной производственной ситуации и достигать требуемого результата упрочнения с минимальными затратами.

**Технико-экономический анализ легирующих элементов в ДЛ-сплавах.** В сплавах для защитных слоев и покрытий находит применение широкий круг легирующих элементов (ЛЭ):

- сплавы на Fe-основе: В, С, N, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zr, Nb, Mo, W;
- сплавы на Cu-основе: В, Al, Si, P, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Sn, Pb.

Частота и эффективность применения этих элементов различны, большинство из которых можно вводить в сплавы диффузионным путем. Однако для ряда элементов существуют известные ограничения по возможности диффузионного введения [5]. Такие ЛЭ в анализируемой ситуации рассматриваются для случая их предварительного металлургического введения в сплав-основу. Разнообразие применяемых в наплавочных сплавах элементов требует их классификации. Основополагающими классификационными признаками являются следующие:

- характер влияния легирующего элемента на свойства сплава;

- способ введения легирующего элемента в сплав;
- стоимость легирующего элемента в сплаве.

Окончательный химический состав сплава формируется в результате суммирования двух групп ЛЭ. Наряду с элементами, целенаправленно вводимыми методами химико-термической обработки (ХТО), как правило, в сплаве присутствуют элементы априори, введенные в металлическую основу. Так, при использовании в качестве основы сплава измельченной стружки серого чугуна ими являются С, Si, Mn, а при применении стружки алюминиевой бронзы – Fe, Al и т. д. Эти элементы совместно с диффузионно-вводимыми ЛЭ оказывают комплексное влияние на свойства сплава и существенно расширяют возможности получения специальных свойств наплавов, особенно при использовании термической обработки [6].

По характеру влияния на свойства сплава для защитных покрытий легирующие элементы дифференцированы на легирующие элементы, обеспечивающие требуемые технологические свойства при формировании наплавленного слоя, и элементы, которые обеспечивают эксплуатационные свойства полученного покрытия. Следует отметить, что значительная часть вводимых легирующих элементов оказывает комплексное влияние как на технологические, так и на эксплуатационные свойства сплава. Однако такая дифференциация влияния легирующих элементов оправдана стремлением четко обозначить ведущую функцию элемента в сплаве и позволяет синтезировать оптимальные по составу и свойствам сплавы.

К важнейшим технологическим свойствам для большинства анализируемых способов

формирования наплавленного слоя относятся температура плавления сплава и связанные с ней жидкотекучесть и усадка при кристаллизации. Наибольшее снижение температуры плавления характерно для случая образования эвтектических сплавов [1]. Наибольший интерес представляют В, С, Р, Si, Ti. Многокомпонентное легирование в ряде случаев позволяет существенно снизить температуру плавления. Так, минимальная температура ликвидус системы Fe – В – С составляет 1100–1097 °С [1].

Важнейшим технологическим свойством большинства наплавочных сплавов является способность к самофлюсованию. Процесс взаимодействия металлической подложки с частично и полностью расплавленным наносимым сплавом может протекать активно только после удаления с их поверхности оксидных пленок, препятствующих образованию активной связи. Это обеспечивается наличием в составе сплава компонентов, имеющих высокую величину термодинамического потенциала образования оксида, значительно большую, чем у наплавляемого металла. Для обеспечения эффективной самофлюсуемости порошка при наплавке необходима повышенная концентрация флюсующе-раскисляющих элементов в поверхностном слое. К числу элементов, активно восстанавливающих оксидные пленки, относятся Н, В, С, Mg, Al, Si, S, Ti, Р, Mn. Наибольшее применение для получения самофлюсующихся сплавов получили В, Si, реже – Mn [7].

Под эксплуатационными свойствами ДЛ-сплава понимают свойства сформированного и обработанного на детали слоя или покрытия, обеспечивающие требуемый срок эксплуатации детали в условиях агрессивного внешнего воздействия. Библиографический массив исследований по рациональному выбору легирующих элементов хронологически глубок и весьма обширен. Более 30 лет назад Л. С. Лившиц отмечал, что наиболее распространенными легирующими элементами для анализируемых сплавов являются С, Cr, Mn, Si и В [8]. В настоящее время перечень применяемых легирующих элементов значительно расширился, однако по-прежнему указанные выше элементы занимают ведущее положение вследствие, в первую очередь, технико-экономических соображений. Ранее выполнена систематизация

данных (авторских и литературных) по влиянию распространенных легирующих элементов на эксплуатационные свойства [9].

Разделение легирующих элементов по стоимости обусловлено необходимостью учета технико-экономических факторов при разработке ДЛ-сплава. В общем случае для ценовой дифференциации ЛЭ применима шкала, разработанная с учетом повышающих коэффициентов [10]. Существенным отличием в нашем случае является необходимость учета затрат на диффузионное введение элемента. Так, затраты на диффузионное введение сравнительно недорогого хрома существенно выше затрат на диффузионное легирование относительно дорогим бором.

Технико-экономическую эффективность использования легирующего элемента предложено оценивать следующим образом:

$$\mathcal{E}_{\text{лэ}} = \Phi / C_{\text{лэ}} K_{\text{лэ}}, \quad (1)$$

где  $\Phi$  – функциональная эффективность легирования на единицу массы легирующего элемента. Речь идет о требуемом изменении эксплуатационных свойств разрабатываемого сплава, например повышение твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и т. д.;  $K_{\text{лэ}}$  – содержание легирующего элемента в сплаве (% мас.);  $C_{\text{лэ}}$  – стоимость единицы массы легирующего элемента в сплаве.

Величина  $C_{\text{эл}}$  зависит от исходной цены компонентов (металлические порошки или алюмотермические смеси) и затрат на диффузионное легирование.

В случае многокомпонентного легирования формула (1) принимает вид

$$\mathcal{E}_{\text{лэ}}^{\Sigma} = \frac{\Phi^{\Sigma}}{\sum (C_i^{\text{лэ}} K_i^{\text{лэ}})},$$

где  $\Phi^{\Sigma}$  – суммарная функциональная эффективность легирования комплексом легирующих элементов;  $C_i^{\text{лэ}}$  – стоимость единицы массы  $i$ -го легирующего элемента;  $K_i^{\text{лэ}}$  – содержание  $i$ -го легирующего элемента в сплаве (% мас.).

В качестве примера оценки технико-экономической эффективности легирования в табл. 1 приведены данные для ДЛ-порошков, применяемых для износостойких слоев. Очевид-

но, что технико-экономическая эффективность диффузионного легирования бором порошка стали 45 для анализируемых условий существенно выше, чем при использовании высоколегированных дорогостоящих сплавов.

Разработанный подход позволяет оценивать технико-экономическую эффективность упрочняющих фаз, применяемых в износостойких сплавах. Полученные результаты, нельзя трактовать как однозначный вердикт по отношению к тому или иному карбиду или бориду. Эффективность упрочняющего действия высокотвердых фаз определяется многими факторами. Однако информация о технико-экономической эффективности в первом приближении позволяет выбирать наиболее перспективные схемы легирования. С этих позиций наряду с традиционными боридами железа и карбидами хрома перспективными следует признать карбиды и бориды титана, а также нитриды переходных металлов. Легированный бором и хромом цементит, несмотря на свою привлекательность в технико-экономических расчетах, имеет существенные недостатки, в первую очередь, высокую хрупкость.

Анализ выполненных работ свидетельствует об эффективности применения в качестве основы сплава измельченной стружки серых чугунов, сферических отходов белых чугунов после электроэрозионной обработки, медных кабельных отходов, бронзовой стружки. Стоимость диффузионно-легированного сплава в этом

случае минимальна, а имеющиеся в нем легирующие элементы открывают широкие возможности получения требуемых свойств покрытий [11–13].

**Технологические основы диффузионного легирования порошковых и проволочных материалов для защитных слоев.** Диффузионное легирование микрообъектов (порошков, проволоки и др.) является сравнительно новой и бурно развивающейся областью техники. Выполненный комплекс исследований позволил разработать технологию диффузионного легирования металлических порошков и проволок для наплавки и напыления. Получаемые ДЛ-сплавы имеют композиционное строение, состоят из ядра (сердцевины) и диффузионной оболочки, содержащей флюсоу-прочняющие элементы. Химический и фазовый состав ДЛ-сплавов можно регулировать технологическими режимами диффузионного легирования. Эффективность применения ДЛ-сплавов обусловлена их преимуществами по сравнению с другими, например:

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

Таблица 1

**Технико-экономическая эффективность применения некоторых ЛЭ при создании диффузионно-легированных наплавочных порошков для износостойких слоев**

Марка порошка. Комплекс ЛЭ, % мас.	Анализируемые эксплуатационные свойства наплавленных слоев					
	Твердость		Износостойкость в условиях абразивного изнашивания		Износостойкость в условиях сухого трения скольжения	
	Повышение твердости ΔHV	Технико-экономическая эффективность легирования	Повышение износостойкости Δε <sub>отн</sub> <sup>абр</sup>	Технико-экономическая эффективность легирования	Повышение износостойкости Δε <sub>отн</sub> <sup>ок</sup>	Технико-экономическая эффективность легирования
ПЖР-С1, 4.6В	397	11,5	1,9	0,17	3,5	0,304
ПР-45Р4 4.76 В; 0.45 С	710	61,7	2,6	0,23	4,5	0,391
ПР-Х18Н9Р4, 18.0Сr; 9.0 Ni; 5,6 В	564	5,2	3,8	0,03	3,9	0,036
ПР-10Р6М5 (борир.) 6.0 W; 5.0 Мо; 3.8 Сr; 1.5V; 1.0C; 5.6В	1520	6,1	5,6	0,02	4,2	0,017

Первый вариант технологии предусматривал диффузионное легирование бором и кремнием стального порошка в порошковой несгораемой смеси на основе карбида бора и карбида кремния с последующей магнитной сепарацией [14]. В начале 1990-х гг. указанная технология была усовершенствована и получила промышленное внедрение на ряде предприятий Беларуси. Наличие существенных недостатков сдерживало ее широкое применение. Это обусловило необходимость модернизации технологии в энергосберегающем направлении.

Диффузионное легирование сплава-основы (металлического порошка, стружки) проводится в скоростном, активированном режиме во вращающемся герметизируемом контейнере с расходуемой или регенерируемой порошковой смесью. Разработанная технологическая схема позволяет в 4–5 раз увеличить скорость диффузионного легирования, доведя ее до 6–8 % легирующего элемента в час [15].

Полученное существенное ускорение диффузионного легирования обусловлено интенсификацией всех элементарных процессов ХТО в реакционном объеме вращающегося контейнера. Впервые доказан, всесторонне изучен и реализован на практике эффект ускорения диффузионных процессов как в насыщаемой, так и в насыщающей средах, обусловленный циклической пластической деформацией периферийных зон порошковых частиц. Плотность дислокаций в контактной зоне при этом возрастает на 50–65 %. Многократная интенсификация ХТО, а также недорогие насыщающие смеси, в том числе алюмотермические, обеспечивают экономическую эффективность процесса диффузионного легирования. Продолжительность диффузионного легирования порошка, как правило, не превышает полутора часов [15].

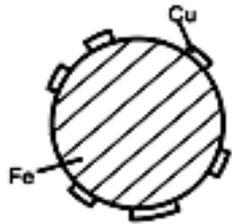
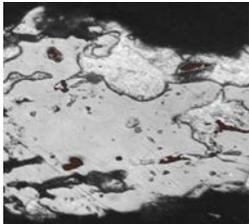
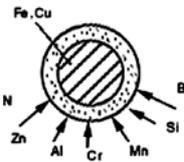
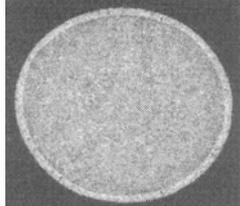
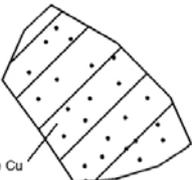
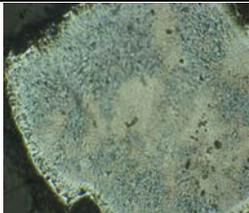
Диффузионное легирование проволоки осуществляется термоциклическим прямым электронагревом в насыщающей среде. Возможна как дискретная, так и непрерывная обработка проволоки [16]. Электронагрев позволяет интенсифицировать процесс диффузионного насыщения, так как при быстром нагреве фазовые превращения смещаются в область более высоких температур и их продолжительность снижается. Это позволяет повысить температуру процесса без ущерба для структуры глубинных слоев насыщаемого металла на

150–200 °С, что значительно интенсифицирует процесс насыщения. Кроме того, процесс насыщения ускоряет многократное прохождение через границу  $\alpha$ - $\gamma$ -перехода в процессе термоциклирования, которое вызывает значительное измельчение зерна, повышение плотности дислокаций и концентрации вакансий.

Существенным отличием электрохимико-термического легирования стальной проволоки является формирование диффузионного слоя с низколегированными фазами преимущественно твердорастворного типа с малым количеством карбидов. Толщина диффузионного слоя при этом достигает 80–100 мкм, качество поверхностного слоя не ухудшается. При электронагреве также изменяются кинетика и механизм образования аустенита. Если при медленном нагреве аустенит образуется только в результате диффузионных процессов, то при быстром нагреве возможно бездиффузионное образование аустенита.

Диффузионное легирование является регламентированным и в зависимости от требований может быть поверхностным, частичным или объемным (табл. 2). Поверхностное легирование обеспечивает повышенную концентрацию элементов в периферийных участках порошка или проволоки и целесообразно для элементов, обеспечивающих технологические свойства наносимого слоя (B, Si, Mn). В разработанных технологиях поверхностное легирование активно применяется при борировании стальных порошков для обеспечения самофлюсуемости при наплавке и повышения износостойкости, а также марганцировании, силицировании, алитировании стальной проволоки для повышения сварочно-технологических свойств. Объемное легирование способствует равномерному распределению диффузионно-вводимого элемента и предпочтительно для элементов, обеспечивающих требуемые эксплуатационные свойства сплава. Оно применяется для азотирования чугунного порошка для износостойких слоев, силицирования бронзового порошка для антифрикционных слоев. Частичное легирование позволяет припекать к поверхности стального или чугунного порошка микрочастицы элементов, объемное или поверхностное легирование которыми проблематично. Оно нашло применение при припекании медных микрочастиц к поверхности чугунного порошка для получения антифрикционных покрытий [13].

Классификация диффузионного легирования микрообъектов (электродов и порошков)

Степень легирования	Схема	Фото микроструктуры	Пример реализации
Частичное легирование			Частичное легирование медью стружки белого чугуна и последующее газотермическое нанесение антифрикционных покрытий [13]
Поверхностное легирование			Диффузионное легирование стальной проволоки алюминием и последующая электродуговая наплавка или напыление [16]
Объемное легирование			Сквозное диффузионное легирование металлических порошков азотом для наплавки плужных лемехов [3]

### ВЫВОД

Созданный методический подход, разработанное технологическое и аппаратное оснащение открывают широкие перспективы гибкого синтеза экономно-легированных сплавов для защитных покрытий с активным использованием отечественной сырьевой базы. Разработанные технологические основы диффузионного легирования наплавочных сплавов позволяют получать широкий спектр составов, структур для различных условий эксплуатации (абразивное, адгезионное, окислительное, электроэрозионное изнашивание и др.). К настоящему времени разработано и внедрено на предприятиях Беларуси более десяти технологических процессов, технических условий упрочнения различных быстроизнашиваемых деталей ДЛ-сплавами. Потенциальные возможности этого направления велики, что позволяет прогнозировать расширение работ в указанной области.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Ворошнин, Л. Г.** Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л. Г. Ворошнин,

Ф. И. Пантелеенко, В. М. Константинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.

2. **Константинов, В. М.** Ресурсоэкономосберегающий потенциал применения диффузионно-легированных сплавов в реновационных технологиях / В. М. Константинов, Ф. И. Пантелеенко // Тяжелое машиностроение. – 2004. – № 2. – С. 21–27.

3. **Жабуренок, С. Н.** Повышение долговечности плужных лемехов наплавкой диффузионно-легированными сплавами из чугуна и последующей термической обработкой: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / С. Н. Жабуренок. – Новополоцк, 2004. – 177 с.

4. **Восстановление** деталей машин: справ. / Ф. И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В. П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.

5. **Многокомпонентные** диффузионные покрытия / Л. С. Ляхович [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1974. – 288 с.

6. **Константинов, В. М.** Проблемы термической обработки наплавленных деталей горношахтного оборудования / В. М. Константинов, В. Г. Дашкевич // Горная механика. – 2005. – № 2. – С. 92–96.

7. **Новые** ресурсосберегающие технологии и композиционные материалы / Ф. Г. Ловшенко [и др.]. – М.: Энергоатомиздат; Гомель: БелГУТ, 2004. – 519 с.

8. **Лившиц, Л. С.** Основы легирования наплавленного металла / Л. С. Лившиц, Н. А. Гриберг, Э. Г. Куркумели. – М.: Машиностроение, 1969. – 188 с.

9. **Константинов, В. М.** Физико-химический анализ элементов в защитных покрытиях из диффузионно-

легированных сплавов / В. М. Константинов // Вестник ПГУ. Сер. В. – 2003. – Т. 2, № 4. – С. 15–25.

10. **Гуляев, Б. Б.** Синтез сплавов: основные принципы. Выбор компонентов / Б. Б. Гуляев. – М.: Metallurgia, 1984. – 160 с.

11. **Авсиевич, А. М.** Технология формирования износостойких газотермических покрытий из диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08, 05.03.01 / А. М. Авсиевич. – Минск, 2003. – 172 с.

12. **Константинов, В. М.** Износостойкие газотермические покрытия из диффузионно-легированных порошков на основе чугуновой стружки / В. М. Константинов [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 137 с.

13. **Фруцкий, В. А.** Антифрикционный материал из легированной бором и медью чугуновой стружки для под-

шипников скольжения: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / В. А. Фруцкий. – Новополоцк, 2006. – 156 с.

14. **Пантелеенко, Ф. И.** Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них / Ф. И. Пантелеенко. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.

15. **Штемпель, О. П.** Интенсификация диффузионного легирования металлических порошков для защитных покрытий в подвижных порошковых смесях: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / О. П. Штемпель. – Новополоцк, 2003. – 166 с.

16. **Семенченко, М. В.** Электрохимикотермическая обработка проволоки для защитных покрытий: дис. ... магистра техн. наук: 05.16.01 / М. В. Семенченко. – Новополоцк, 2003. – 76 с.

Поступила 10.01.2007

УДК 658.562

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ НА РУП «БМЗ»

*Канд. техн. наук, доц. СЕРЕНКОВ П. С., канд. техн. наук АНДРИАНОВ Д. Н.*

*Белорусский национальный технический университет*

В условиях сложившегося производства и системы управления потенциал для улучшения заключен в глубоком, фундаментальном анализе процессов с применением статистических методов высокого уровня, позволяющих определить необходимые рычаги влияния на ход его протекания и возможные пути оптимизации.

Основной целью исследования процессов является уменьшение потерь за счет недостижения требуемого качества продукции. Под повышением качества подразумевается комплексное управление показателями результативности процесса (параметрами математического ожидания и рассеяния) в целях достижения оптимальных значений с точки зрения требований и затрат.

**Методика проведения исследований.** Цель разработки данной методики – получить инструмент (информационную модель качества

продукции), позволяющий на основании фактических данных определять причинно-следственные зависимости «влияющие факторы – показатели качества» процессов, прогнозировать значения показателей качества в зависимости от условий и на основании этого принимать эффективные корректирующие и предупреждающие действия.

Использованы статистические методы анализа данных различного уровня, что позволяет извлечь максимальное количество необходимой информации при минимальных затратах на сбор и обработку исходных данных.

Для построения информационной модели качества продукции необходимо решить комплекс задач:

- определить показатель качества продукции (процесса);
- идентифицировать факторы, влияющие на качество продукции (процесса);