

Особенности процесса лазерного оплавления газотермических покрытий

БАЛДАЕВ А. Х., д. т. н., ИШМУХАМЕТОВ Д. З., ЕРШОВ М. В., ШАРЫГИН В. С.,
ООО «Технологические системы защитных покрытий», г. Щербинка, e-mail: adm@tspc.ru

В работе рассматриваются особенности процесса лазерного оплавления функционального защитного покрытия, предварительно нанесенного по технологии газопламенного напыления. Показано влияние режимов оплавления на характер возникающих дефектов, а также изменение микроструктуры зоны «покрытие-основа».

Ключевые слова: формирование функциональных защитных покрытий, лазерное оплавление.

Применение лазерных технологий в процессах обработки поверхностей деталей с целью повышения эксплуатационных характеристик находит все большее распространение в различных отраслях промышленности (авиация, нефтедобыча, автомобилестроение и др.) [1]. При этом значительное число исследовательских работ связано с обработкой поверхностей деталей лазерным излучением в виде термообработки, наплавки, сварки, реже встречаются упоминания по использованию лазерных систем для повышения эксплуатационных свойств покрытий, наносимых различными методами, причем имеющаяся информация в ряде случаев носит противоречивый характер.

Применение функциональных защитных покрытий, наносимых методами газотермического напыления, осаждения из парогазовой фазы, химическими и электрохимическими и др., само по себе обеспечивает удовлетворительную ра-

ботоспособность детали либо узла агрегата при эксплуатации. Однако наличия только функционального покрытия не всегда достаточно, либо его ускоренный износ сопровождается значительными динамическими нагрузками, ударами. Возникновение подобных ситуаций требует пересмотра в выборе применяемой технологии упрочнения либо закладывания дополнительной обработки, направленной на повышение эксплуатационных свойств рабочих поверхностей. Для этих целей может быть рассмотрена технология лазерной обработки — оплавление предварительного нанесенного покрытия с целью придания поверхности меньшей шероховатости, улучшения коррозионных свойств, повышения однородности и др. В этой связи в работе сделан упор на оценку возможности и эффективности применения лазерного оплавления на предварительно нанесенном методом высокоскоростного газопламенного напыления покрытия.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты проводились на плоских образцах размерами 100x50x3 мм из стали 09Г2С. На поверхность образцов предварительно наносилось покрытие (табл. 1) с толщинами 50 и 150 мкм методом высокоскоростного газопламенного напыления, затем осуществлялось оплавление поверхности непрерывным лазерным излучением.

Оплавление осуществлялось с помощью лазерного комплекса «Плакарт LDF6000». Лазер оснащен оптоволоконной системой перемещения излучения, обеспечивающей формирование пятна диаметром 2,0 мм с возможностью коакси-

альной подачи порошкового материала, длина волны излучения — 1,06 мкм, приведенное фокусное расстояние — 12 мм.

Режимы оплавления подбирались таким образом, чтобы исключить коробление, а также формирование трещин. После оплавления поверхность образцов подвергалась визуальному осмотру на наличие дефектов и последующим металлографическим исследованиям. Измерение микротвердости осуществлялось с помощью автоматического микротвердомера ZHV μ -AF (Zwick/Roell, Германия) с программным обеспечением.

Табл. 1. Химический состав покрытия

Fe	Cr	Ni	B	Mn	Si	C	S	P	O	N
основа	13,3	5,6	3,0	0,3	2,6	2,08	0,001	-	0,03	0,008

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Визуальный осмотр

Результаты визуального осмотра поверхности образцов после обработки выявили следующие характерные особенности:

- оплавление с формированием рельефа поверхности, который по мере повышения плотности мощности от 6242 до 8917 Вт/см² (при R принято 0,72) переходит к более оплавленному состоянию (рис. 1, дорожки 1—5). Дальнейшее

повышение плотности мощности излучения сопровождается полным оплавлением покрытий и глубоким проплавлением материала основы, что подтверждается результатами металлографических исследований. В связи с этим последующая отработка режимов осуществлялась таким образом, чтобы обеспечить минимальное перемешивание с материалом основы, для чего осуществлялось дополнительное

варьирование фокусным расстоянием в сторону повышения расфокусировки;

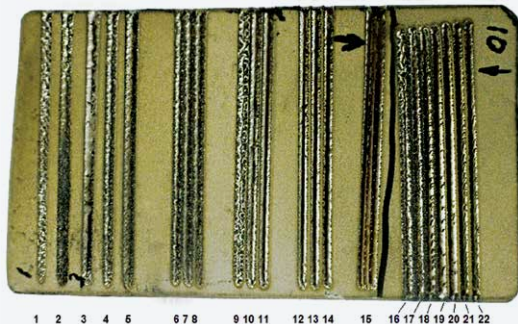


Рис. 1. Внешний вид оплавленной поверхности газотермического покрытия при воздействии лазерного излучения, исходная толщина на покрытии 50 мкм

- увеличение расфокусировки при постоянном режиме термического воздействия и скорости сканирования приводит к сужению эффективной зоны оплавления вплоть до размеров меньших диаметра пятна излучения, что обеспечивает протекание процессов термообработки покрытия без его оплавления. Аналогичный эффект достигается при варьировании скорости перемещения источника лазерного излучения по поверхности при постоянных плотности мощности и фокусном расстоянии;

- толщина покрытия оказывает существенное влияние на характер оплавления, что было выявлено при отработке режимов для покрытия толщиной 50 мкм, для которого бездефектное оплавление соответствует плотности мощности 7133 Вт/см² при расфокусировке 12 мм. Для покрытия толщиной 150 мкм при тех же условиях отмечается образование более дефектной оплавленной зоны с усадкой по периферии, что свидетельствует о жестком термоцикле для данной толщины покрытия. Дальнейшее увеличение расфокусировки с 12 до 24 мм обеспечивает незначительное уменьшение эффекта усадки по периферии валика (рис. 2, дорожки 5—9), но при сохранении постоянства оплавленности покрытия по всей длине дорожки. При расфокусировке более 24 мм отмечается нарушение сплошности с образованием дискретных зон оплавленного покрытия (рис. 2, дорожки 10—14).

Стоит отметить, что уровень термических поволодок на образцах при оплавлении напыленного покрытия ниже, чем при лазерной наплавке аналогичного материала покрытия при тех же условиях термического воздействия. Это обусловлено наличием пористости в напыленном покрытии, а также окислов. Окислы напыленного покрытия имеют вторичный эффект в виде повышения поглощательной способности поверхности, что дает возможность понизить режимы воздействия при сохранении качества оплавленного слоя либо исключить необходимость предварительного нанесения светопоглощающих покрытий [2].

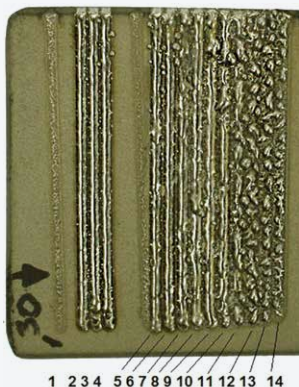


Рис. 2. Внешний вид оплавленного покрытия при различных режимах оплавления, исходная толщина покрытия 150 мкм

Металлографические исследования

Результаты металлографических исследований свидетельствуют о том, что микроструктура неоплавленных покрытий плотная, пористость порядка 1—1,5 %, на границе раздела имеются локальные включения, что может быть связано с недостаточным качеством проведенной абразивно-струйной обработки перед нанесением покрытия. Последующее оплавление покрытия приводит к формированию литой мелкодисперсной структуры с отсутствием оксидных включений. Причем минимальная дефектность оплавленного слоя отмечается на плоских образцах с толщиной 50 мкм при расфокусировке 3—12 мм. При отсутствии расфокусировки при плотности мощности излучения от 6242 до 7133 Вт/см² в микроструктуре покрытия наблюдается неполное проплавление. Увеличение плотности мощности излучения более 7133 Вт/см² приводит к полному оплавлению покрытия и материала основы, без образования пор и несплавов (рис. 3).

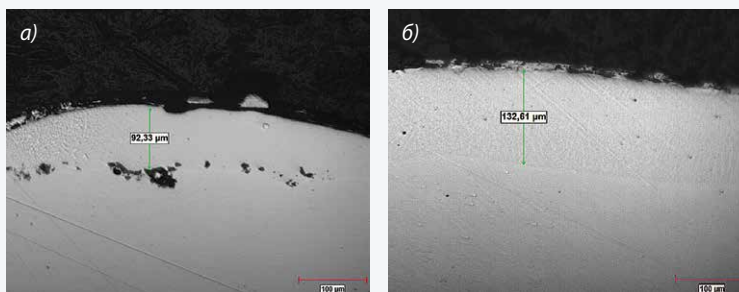


Рис. 3. Микроструктура напыленного покрытия при последующем оплавлении лазерным излучением (исходная толщина покрытия 50 мкм) при различных режимах оплавления
а — при плотности мощности излучения от 6242 до 7133 Вт/см²; б — при плотности мощности излучения более 7133 Вт/см²

Микроструктура оплавленных образцов при исходной толщине покрытия 150 мкм при изменении расфокусировки с 12 до 24 мм характеризуется следующими особенностями:

- при расфокусировке в 12 мм наблюдаются локальные включения по границе линии сплавления, формируемой при оплавлении покрытия и материала основы. Дальнейшее увеличение расфокусировки приводит к возрастанию количества локальных включений и отчетливому переходу от линии сплавления к границе раздела между оплавленным покрытием и материалом основы, наиболее заметное разделение отмечается при величине расфокусировки 24 мм. При величине расфокусировки 27 мм высота оплавленной части покрытия составляет порядка 75 мкм от общей высоты исходного покрытия (рис. 4), при этом микроструктура оплавленной зоны бездефектная, плотная, однако на поверхности наблюдается нарушение сплошности оплавленного валика. Микроструктура неоплавленной зоны покрытия при расфокусировке 27 мм характеризуется частичным отслоением от основы, дефектами в виде растрескиваний, что обусловлено уровнем напряжений при усадке оплавленной части.

При расфокусировке более 27 мм характер образующихся дефектов в виде растрескивания по неоплавленной зоне напыленного покрытия сохраняется, в данном случае это может быть обусловлено свойствами материала покрытия.

Произведенный замер микротвердости покрытия до и после оплавления показал, что значение микротвердости в оплавленной зоне изменяется от 950 до 1090 HV, до оплавления микротвердость составляет 680—699 HV.

Выводы

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что процесс лазерного оплавления предварительно нанесенного газотермического покрытия имеет особенности,

требующие дальнейшего изучения. Метод позволяет обеспечить повышение уровня свойств применяемых материалов покрытий после газотермического напыления за счет уплотнения структуры, устранения пористости, снижения шероховатости, увеличения прочности соединения с основой при оплавлении на всю толщину покрытия. Это возможно при точном дозировании параметров излучения с учетом не только толщины, но и материала покрытия, для исключения жесткого термоцикла.

Для расширения технологических диапазонов процесса оплавления целесообразнее использование источника излучения с большим пятном воздействия либо применение предварительного подогрева поверхности до температуры порядка 300 °С перед оплавлением [2].

Литература

1. Казакевич В. С, Ярьско С. И. Тенденции развития рынка лазерных технологий для решения задач лазерной обработки материалов. Часть 1. Мировой лазерный рынок // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2014. — № 5 (Т.16). — С. 267—275.

2. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование / А. Ф. Ильющенко, А. И. Шевцов, В. А. Оковитый, Г. Ф. Громыко. — Минск: Беларус. навука, 2011. — 357 с.

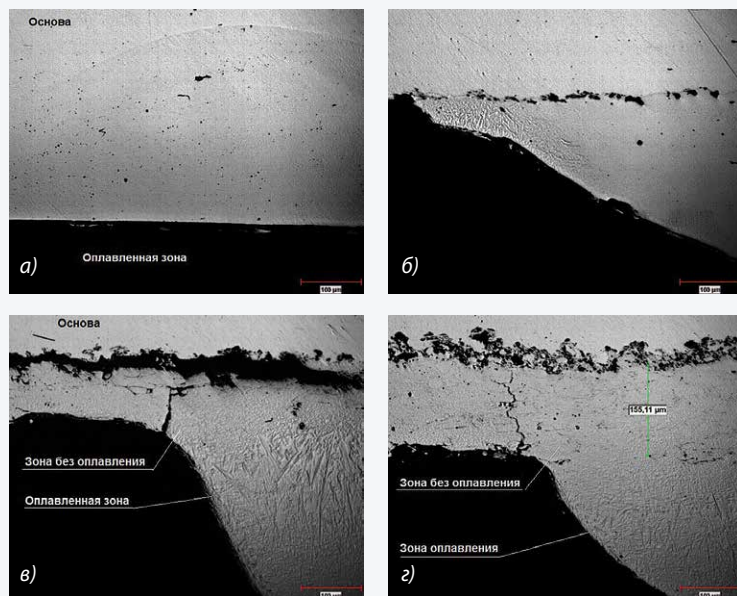


Рис. 4. Динамика изменения микроструктуры при лазерном оплавлении покрытия с различной расфокусировкой
а—18 мм; б—24 мм; в—27 мм; г—33 мм

г. Щербинка, Московская область, декабрь 2014 года



ООО «Газпромкомплект»

347360, г. Волгодонск, Ростовская обл., ул. Ленина, 60, а/я 1432

- Теплообменники
- Краны шаровые
- Клапаны
- Оборудование для АЭС
- Оборудование для проверки и испытания арматуры
- Запорная арматура на цистерны
- Арматура для транспортировки диоксида серы
- Контейнеры-цистерны типоразмера ICC

