

УДК 67.05

**ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Тескер Ефим Иосифович

доктор технических наук

Волгоградский технический университет, Волгоград

Тескер Сергей Ефимович

научный сотрудник

ООО «Агромаш», Волгоград

Архипов Виталий Владимирович

ведущий инженер

Колесов Андрей Александрович

ведущий инженер

Евстафьев Владимир Геннадьевич

ведущий инженер

Семенов Роман Александрович

ведущий инженер

ООО «Центр испытаний, оценки соответствия и экспертиз», Волгоград

Овчаренко Леонид Владимирович

заведующий лабораторией

Захарьин Александр Алексеевич

научный сотрудник

Макаров Игорь Геннадьевич

ведущий научный сотрудник

Пыщев Александр Фёдорович

заведующий лабораторией

ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратуры», Волгоград

Кононов Пётр Владимирович

заместитель генерального директора

ООО «Безопасность в промышленности», Москва

author@apriori-journal.ru

Аннотация. В статье приведены результаты проведенных исследований и установлена возможность формирования надёжных, бездефектных покрытий при лазерной наплавке рабочих поверхностей деталей, изготовленных из серого чугуна.

Ключевые слова: серый чугун; лазерная наплавка; металлографические исследования.

USING LASER TECHNOLOGY FOR IMPROVING THE RELIABILITY AND SAFE OPERATION OF COMPRESSOR EQUIPMENT

Tesker Efim

doctor of engineering

Volgograd State Technical University, Volgograd

Tesker Sergey

research officer

JSC «Agromash», Volgograd

Arkhipov Vitaly

senior engineer

Kolesov Andrey

senior engineer

Evstafyev Vladimir

senior engineer

Semyonov Roman

senior engineer

LLC «Center for testing, conformity assessment and expertise», Volgograd

Ovcharenko Leonid

head of laboratory

Zakharyin Aleksandr

research officer

Makarov Igor

senior research officer

Pyshchev Alexander

head of laboratory

JSC «VNIIPThimnefteapparatury», Volgograd

Kononov Pyotr

deputy general director

LLC «Bezopasnost v Promyshlennosti (Safety in Industry)», Moscow

Abstract. The article presents the results of the research and establishes the possibility of forming reliable, defect-free coatings in case of laser cladding of working surfaces of parts made of gray cast iron.

Key words: gray cast iron; laser cladding; metallographic study.

В химической и нефтегазовой промышленности компрессорные установки являются одним из основных видов оборудования, от надежности работы которого зависит непрерывность и безопасность технологических процессов.

При эксплуатации оборудования возможен выход из строя корпусных деталей, обусловленный следующими дефектами: коррозионно-эрозионный износ, свищи, трещины, забоины на плоскостях разъема, износ посадочных мест под подшипники, повреждение резьбы.

Опыт эксплуатации корпусных деталей, изготовленных из серого чугуна, показал, что чаще всего происходит изнашивание посадочных мест под подшипники, поскольку, как правило, данные поверхности на подвергаются упрочнению из-за сложности геометрической формы корпусов. Наличие различного рода конструктивных концентраторов может быть причиной возникновения трещин в чугуне при использовании традиционных технологий закалки или наплавки. При плановой замене подшипников посадочные размеры корпусных деталей, как правило, увеличиваются в диаметре. При этом установка ремонтных колец не всегда возможна из-за недостаточной толщины стенки и возможности разрушения корпуса при операции запрессовки.

В таких случаях целесообразно использовать лазерную наплавку, которая характеризуется большой концентрацией энергии, незначительной зоной термического влияния, что позволяет гарантированно без образования трещин, раковин и пор формировать поверхностный слой с требуемой толщиной и наперед заданными эксплуатационными свойствами. Лазерную наплавку осуществляют как порошками отечественного производства, используемыми для газопламенного напыления, так и специально разработанными порошковыми материалами.

Однако при лазерном воздействии на некоторые железоуглеродистые стали и сплавы возникают проблемы, связанные с получением бездефектных поверхностных слоев. Это, прежде всего, относится к

наплавке деталей, изготовленных из серого чугуна. Формирование качественных покрытий в данном случае осложняется интенсивным парообразованием, которое происходит за счет свободного углерода, находящегося в чугуне в виде графита, диффундирующего при высокотемпературном воздействии в наплавленный слой. Процессы всплытия графита, а также выделение газа, адсорбированного на нем, сопровождаются образованием в наплавленном слое многочисленных дефектов в виде трещин и газовых пор, которые отрицательно влияют на эксплуатационные характеристики деталей. Кроме того, неконтролируемое увеличение твердости, наблюдаемое в нижних слоях покрытия, происходящее в результате диффузии углерода в сторону интенсивного теплоотвода, значительно усложняет проведение заключительных доводочных операций при механической обработке.

В данной статье приведены результаты исследований по изучению возможности формирования качественных покрытий при лазерной наплавке деталей из серого чугуна.

Исследования проводили на цилиндрических образцах диаметром 25 мм, изготовленных из чугуна марки СЧ 20 (исходная твердость 229...241 НВ). Лазерную наплавку образцов проводили на непрерывном CO₂-лазере «Комета-2».

Качество наплавленных слоев оценивали по следующим признакам: отсутствие в наплавленных слоях дефектов в виде трещин и газовых пор; отсутствие химической неоднородности; прочная металлургическая связь с основным металлом; удовлетворительная обрабатываемость резцами, изготовленными из быстрорежущих сталей. Микростроение и качество наплавленного слоя изучали на микрошлифах методом оптической микроскопии с использованием микроскопа МИМ-10 при 100-кратном увеличении. Наличие поверхностных дефектов выявляли внешним осмотром, а также методом цветной дефектоскопии по ГОСТ 18442. Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3 при

нагрузке 1 Н. Определение адгезионных свойств наплавленного слоя проводили на универсальной разрывной машине EU-20 методом сдвига.

После лазерной наплавки порошкового материала на опытные образцы, изготовленные из серого чугуна, и последующей операции шлифования на поверхности наплавленного слоя внешним осмотром обнаружены многочисленные газопоры диаметром до 2 мм (рис. 1).

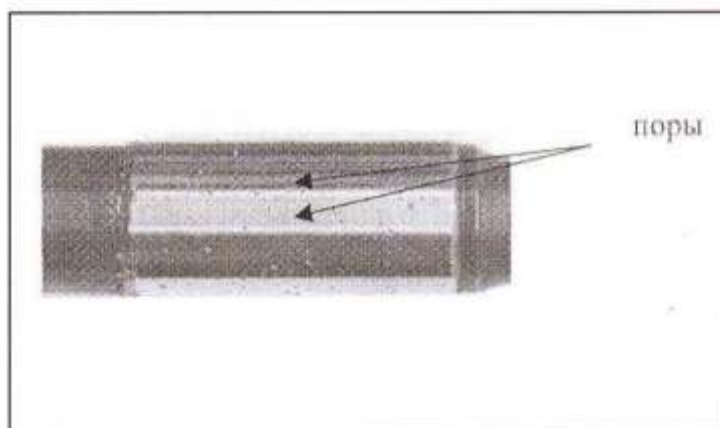


Рис. 1. Вид чугунного образца после лазерной наплавки

В результате металлографических исследований наряду с газовыми порами были выявлены и трещины, зародившиеся в наплавленных слоях и распространяющиеся до границы сплавления с подложкой. Образование трещин в данном случае обусловлено высоким напряженным состоянием наплавленного слоя, а также приграничных участков основного металла, при этом очагами их зарождения служат многочисленные газопоры. Следует отметить, что наличие трещин в наплавленном слое и газовых пор на границе сплавления является основной причиной снижения адгезионной прочности композиции «наплавленный слой – основной металл», которая в данном случае составляет всего 120...140 МПа.

Микрорентгеноструктурным анализом установлено, что основные легирующие элементы в наплавленном слое до глубины 0,55 мм распределены достаточно равномерно, что и определяет незначительное изменение микротвердости в данной области (2800...3000 МПа). Однако с увеличением расстояния от поверхности микротвердость резко повы-

шается и на глубине 0,85 мм (граница сплавления с основным металлом) становится равной 6250 МПа. Резкое повышение микротвердости в данной области можно объяснить наличием большого количества карбидов, образовавшихся в результате диффузии углерода из подложки в наплавленный слой. Следует отметить, что при необходимости получения наплавленных слоев незначительной толщины повышение микротвердости может усложнить проведение доводочных механических операций.

Таким образом, основными причинами снижения качества наплавленных лазером слоев (наличие газовых пор и трещин), а также резкое увеличение микротвердости в нижних слоях сформированного покрытия являются процессы диффузии углерода из основного металла, интенсивное выделение газа, адсорбированного на графите, а так же образование карбидов с повышенной твердостью.

Можно предположить, что целенаправленное снижение содержания углерода на поверхности чугуновых деталей, должно способствовать значительному улучшению качества наплавленных слоев. С этой целью было использовано непрерывное излучение CO_2 -лазера, при помощи которого проводили предварительное оплавление поверхностей образцов, приводящее к частичному выгоранию углерода.

При металлографических исследованиях микрошлифов установлено, что после лазерной обработки графитовые включения в зоне оплавления отсутствуют, так как они растворились в жидкой металлической матрице в процессе оплавления при высокотемпературном воздействии лазерного излучения на поверхность образца. При этом высокая скорость охлаждения оказывает влияние и на эвтектическую кристаллизацию, которая приводит к измельчению эвтектических зерен, в результате чего прочность чугуна повышается, а микротвердость составляет 5000...5500 МПа. В зоне закалки из твердого состояния перлитная основа вследствие нагрева выше критической температуры (точка Ac_3) превращается в аустенит, который в результате последующего быстрого охла-

ждения распадается с образованием мартенсита, насыщенного углеродом, что сопровождается повышением микротвердости до 7800 МПа.

Значительное уменьшение количества газовых пор в наплавленном слое и их размер в данном случае связано с частичным обезуглероживанием оплавленной лазером поверхности, а наличие трещин обусловлено ее повышенной твердостью и напряженным состоянием.

Установлено, что основные легирующие элементы в наплавленном слое до глубины 0,55 мм распределены достаточно равномерно, что и определяет незначительное изменение микротвердости в данной области (2800...3000 МПа). Однако с увеличением расстояния от поверхности микротвердость повышается и на границе сплавления с основным металлом на глубине 0,85 мм становится равной 4520 МПа. Пониженная микротвердость в данной области покрытия, по сравнению с первым вариантом наплавки объясняется меньшим количеством образовавшихся карбидов и боридов хрома в результате предварительного обезуглероживания поверхности чугуна образцов. В результате меньшей дефектности адгезионная прочность композиции «наплавленный слой – основной металл» повысилась по сравнению с первым вариантом наплавки и стала составлять 160...170 МПа.

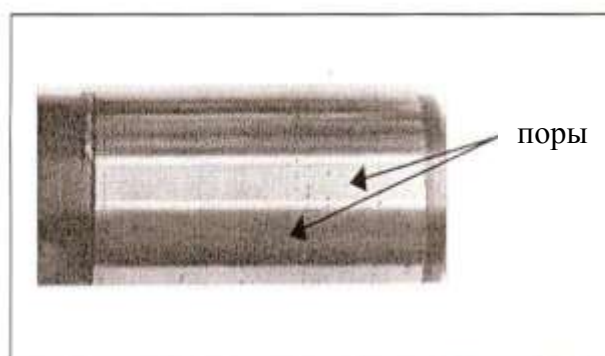


Рис. 2. Вид чугунного образца после лазерной наплавки на предварительно оплавленную поверхность

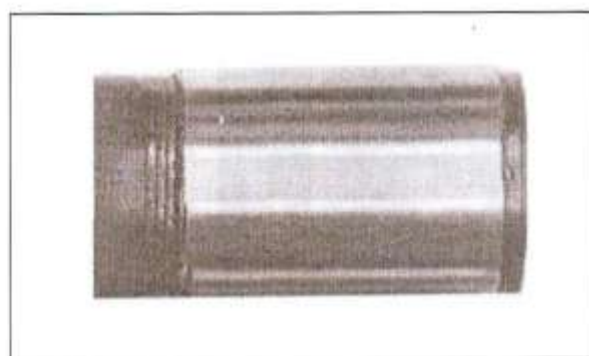


Рис. 3. Вид чугунного образца после лазерной наплавки на предварительно оплавленную и отожженную поверхность

После лазерной наплавки на подготовленную поверхность и дальнейшей операции шлифования при внешнем осмотре и металлографическом исследовании в сформированном покрытии газопоры и трещины не были обнаружены (рис. 3). При отсутствии дефектов адгезионная прочность композиции «наплавленный слой – основной металл» повысилась до 240...250 МПа. При этом наблюдаемое увеличение микротвердости сплавления с основным металлом до 4500 МПа не создавало существенных осложнений для токарной обработки наплавленного слоя при необходимости получения покрытий незначительной толщины.

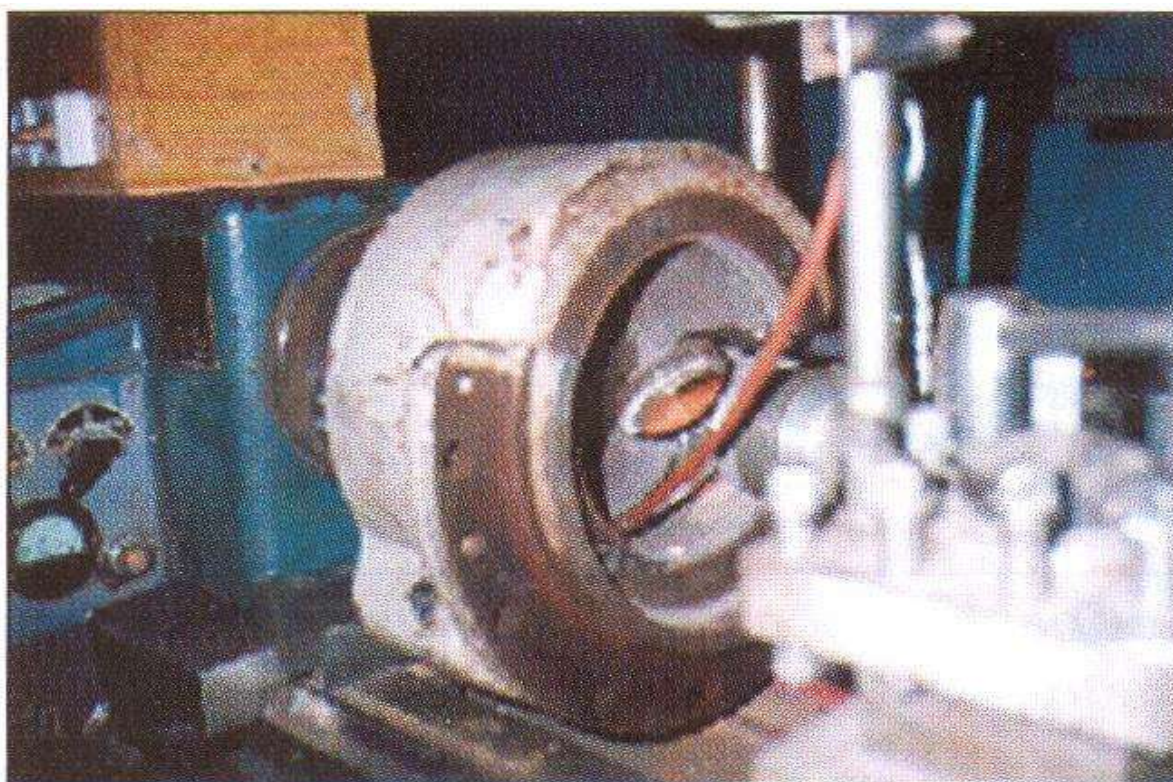


Рис. 4. Корпус насоса при лазерной наплавке посадочных мест под подшипники

В результате проведенных исследований установлена возможность формирования бездефектных покрытий при лазерной наплавке рабочих поверхностей деталей, изготовленных из серого чугуна. На этой основе в ООО «Агромаш» разработана технология восстановления посадочных мест под подшипники чугунных корпусов консольных насосов (рис. 4) и

внедрена, например, на ОАО «Каустик», ОАО «Астраханьгазпром», ООО «Лукойл Волгограднефтепереработка» и других предприятиях. Применение данной технологии позволило значительно увеличить надёжность эксплуатируемого оборудования и его ресурс.