

УДК 621.793

СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГРЕБНОГО ВАЛА МНОГОСЛОЙНОЙ НАПЛАВКОЙ С ПООПЕРАЦИОННЫМ КОНТРОЛЕМ

Каразанов Кирилл Олегович^{1,2}, аспирант, инженер

e-mail: karazanov.kirill@mail.ru

Давыдов Евгений Александрович^{1,2}, аспирант, заместитель начальника

e-mail: davydov.ea@vsuwt.ru

Родюшкин Владимир Митрофанович³, доктор технических наук, заведующий лабораторией волновой динамики, экспериментальной механики и виброзащиты машин

e-mail: vlkn2005@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

² Научно-Технический Тренажерный центр «Механик», Нижний Новгород, Россия

³ Институт проблем машиностроения РАН «филиал ФГБНУ «ФИЦ ИПФ им. А.В. Гапонова-Грехова РАН», Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе рассматриваются особенности нанесения многослойной наплавки для восстановления геометрических параметров изношенных узлов машин и механизмов. Описаны основные особенности структуры и свойств слоев, формируемых при нанесении многослойной наплавки. Сформированы и апробированы основные шаги по созданию комплексного метода восстановления деталей многослойной наплавкой с пооперационным контролем.

Ключевые слова: многослойная наплавка, порошковая проволока, плазменная наплавка, микроструктура, микротвердость, ультразвуковой контроль, скорость упругой волны.

A METHOD FOR RESTORING THE PROPELLER SHAFT BY MULTILAYER SURFACING WITH OPERATIONAL CONTROL

Karazanov Kirill Olegovich^{1,2}, Doctoral Student, Engineer

e-mail: karazanov.kirill@mail.ru

Davydov Evgeny Aleksandrovich^{1,2}, Doctoral Student, Deputy Chief

e-mail: davydov.ea@vsuwt.ru

Rodyushkin Vladimir Mitrofanovich³, Doctor of Technical Sciences, Head of Wave dynamics and experimental mechanics Laboratory

e-mail: vlkn2005@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

² Scientific and Technical Training Center «Mechanic», Nizhny Novgorod, Russia

³ Institute of Problems of Machine Science RAS, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper discusses the features of using a multilayer surfacing to restore the geometric parameters of worn parts in machines and mechanisms. The main features of the structure and

properties of the layers created during the process of applying multilayer surfacing are described. The basic steps for creating a comprehensive method for repairing parts using multilayer surfacing with postoperative monitoring have been developed and tested.

Keywords: multi-layer surfacing, powder wire, plasma surfacing, microstructure, microhardness, ultrasonic inspection, elastic wave speed.

Введение

Многослойная наплавка применяется в промышленности для создания новых деталей путем создания слоев материала с заданными свойствами [1, 2]. С другой стороны, она представляет собой широко распространенную ремонтную технологию для восстановления геометрических параметров деталей после эксплуатации [3]. В машиностроении и машиноремонте часто встречаются следующие способы нанесения многослойной наплавки: ацетиленкислородная наплавка [4], плазменное напыление самофлюсующихся порошков [5], плазменная наплавка [6], наплавка порошковой проволокой [3, 7], многоэлектродная наплавка [8], лазерная наплавка [9] и прочие.

В данной работе рассматривается технология восстановления деталей судовых машин и механизмов на примере гребного вала, так как подобные узлы на судоремонтных предприятиях зачастую восстанавливаются нанесением нового слоя на ранее наплавленный слой, оставшийся после эксплуатации. На АО «Борремфлот» для восстановления судовых валов используется утвержденная [10] технология, предполагающая постадийную многослойную наплавку под флюсом. Несмотря на удобство, стабильное качество и распространение указанной технологии, она не принимает во внимание появление дефектов внутри детали в процессе эксплуатации. Стоит отметить, что количество допустимых наплавочных слоев повторной наплавки в руководящем документе не указано однозначно. Таким образом, технология подразумевает возможность совершенствования.

Сущность разрабатываемого подхода состоит в ультразвуковом изучении поверхности наплавленной и обработанной детали. Неразрушающий ультразвуковой контроль сосредоточен на исследовании спектрального состава сигнала. Микроструктурные исследования направлены на оценку физико-механических параметров: микротвердость, равноосность зерен и однородность их распределения по размерам, степень адгезии слоев друг к другу, объемная доля пор, наличие и размеры трещин. При измерении параметров формируется браковочный критерий: отклонения в спектре зондирующей ультразвуковой волны связываются с повышенной твердостью и дефектами в микроструктуре. Схема формирования браковочного критерия приведена на рисунке 1.

В дальнейшем, при ультразвуковом контроле значительные отклонения в спектре сигнала могут быть расценены как состояние т.н. «преддефекта». Соответственно, направлением исследования выступает формирование комплексного метода восстановления деталей многослойной наплавкой с пооперационным контролем.



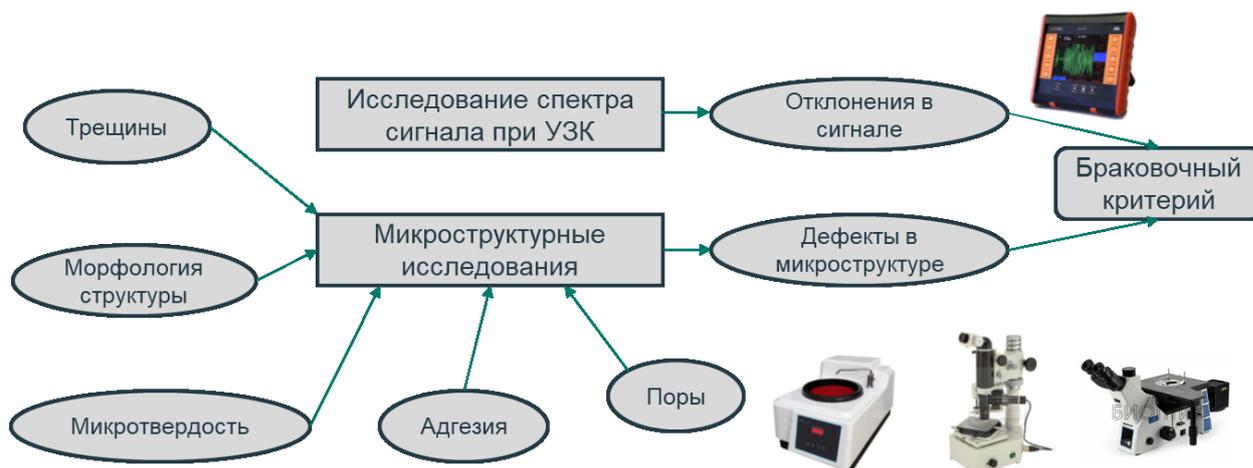


Рисунок 1 – Формирование браковочного критерия

Материалы и методы

Для исследования связи между особенностями ультразвукового сигнала и структурой многослойной наплавки были изготовлены образцы из судового гребного вала диаметром 90 мм. На три участка вала, изготовленного из стали 35, были нанесены 1, 2 и 3 слоя наплавки соответственно. В качестве наплавочного материала применялась сварочная проволока Св-06Х19Н9Т. Высоколегированные хромоникелевые стали часто используются для придания гребным валам коррозионной стойкости [10].

Выделены следующие зоны образцов: материал наплавки, зона сплавления, зона термического влияния и зона, представляющая собой основной материал гребного вала. Изготовленные образцы и выделенные в них характерные зоны показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Образцы многослойной наплавки

Образцы с различным количеством слоев наплавки проходили процедуры неразрушающего ультразвукового и разрушающего металлографического контроля. Для акустического контроля были выбраны упругие волны с частотой 5 МГц. Для металлографического исследования осуществлялась пробоподготовка при помощи отработанной методики [3]. Фотографии микроструктуры были получены при помощи оптического светового микроскопа, микротвердость была измерена по методике Виккерса.

Результаты и их обсуждение

Скорость прохождения упругой волны в материале измеряется для обнаружения дефектов и несплошностей, которые могли возникнуть в процессе нанесения многослойной наплавки. Но при этом различия в толщине образца будут приводить к различиям во времени распространения ультразвука, что в свою очередь приведет к различиям в скорости.

Результаты измерений толщины образцов, а также соответствующие скорости прохождения упругой волны в местах сплавления и в основном металле приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты ультразвукового контроля образцов

№	Толщина h, мм	Скорость звука в металле, м/с	Скорость звука в зоне сплавления, м/с
1	20,1	5817 ± 10	5827 ± 10
2	20,1	5690 ± 10	5695 ± 10
3	20,0	6020 ± 10	6035 ± 10

Установлено, что отклонения в значениях скорости звука связаны с разницей в толщине образцов. Соответственно, у всех образцов вне зависимости от числа наплавленных слоев свойства основного металла сохраняются.

У всех образцов были измерены и усреднены значения микротвердости в выделенных зонах. Результаты измерений оказались довольно близкими вне зависимости от количества слоев наплавки. Данные представлены на рисунке 3. Отмечается локальное повышение микротвердости в зоне сплавления.

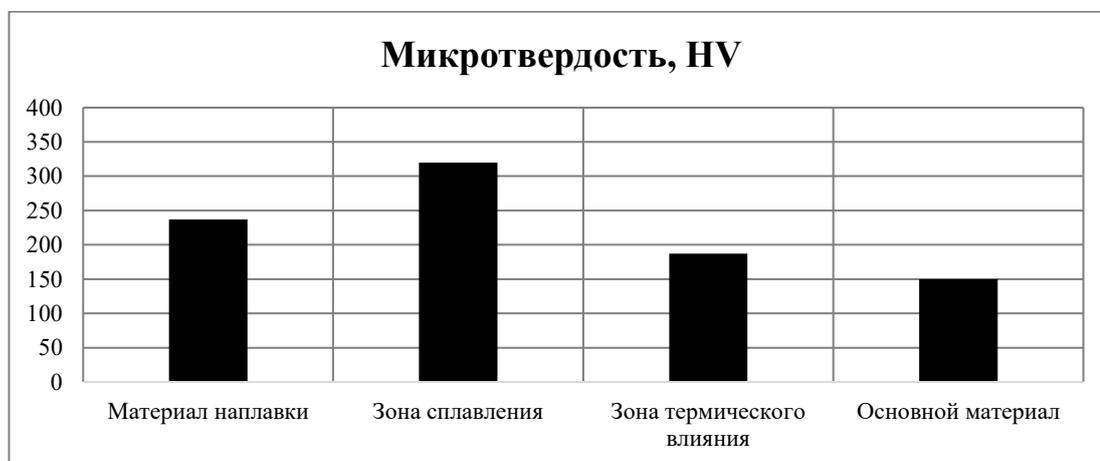
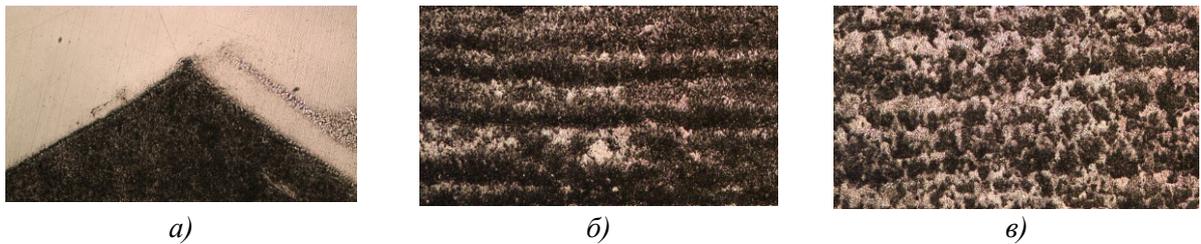


Рисунок 3 – Характерные значения микротвердости зон образцов

Микроструктура характерных зон образцов приведена на рисунке 4. Отмечается существенное сходство результатов вне зависимости от количества слоев наплавки. Значительных дефектов, скоплений пор, а также наличия трещин не обнаружено.



а) зона сплавления; б) зона термического влияния; в) основной материал
 Рисунок 4 – Микроструктура многослойной наплавки:
 Увеличение x200

По результатам металлографических исследований у всех образцов наблюдается качественная адгезия наплавленного слоя к основному металлу. Замечено закономерное изменение фазового состава в зоне термического влияния вследствие диффузионных процессов, которое, впрочем, не приводит к критическому повышению микротвердости и угрозе отслоения.

Заключение

Способ многослойной наплавки позволяет создать функционально-градиентный материал, где каждый из слоев не только несет собственную функцию, но и испытывает температурное и механическое влияние от соседствующих слоев. Последовательная многослойная наплавка создает механические напряжения в структуре нанесенного материала, которые в некоторых случаях приводят к возникновению критических для эксплуатации дефектов (например, к отслоению). Решение о возможности повторной наплавки должно базироваться на браковочном критерии, который выявляет состояние «преддефекта».

В результате измерения скорости прохождения ультразвуковой волны отклонений в структуре не обнаружено, соответственно, несущая способность основного металла не снизилась. Металлографическое исследование образцов последовательной наплавки не выявило существенной зависимости структуры и свойств основного материала от числа наплавочных слоев. Не обнаружено дефектов материала основы, которые бы негативно влияли на адгезионные и прочностные свойства.

На основе полученных результатов разрабатывается комплекс методических рекомендаций для пооперационного контроля при восстановительной наплавке тел вращения.

Список литературы:

1. Матвиенко В.Н., Иванов В.П., Степнов К.К. Получение многослойного композиционного покрытия наплавкой ленточными электродами // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 1998. – №. 6. – С. 201 – 204.
2. Душина А.Ю. Послойная плазменная наплавка сталей аустенитного класса типа 308LSi для аддитивного производства: дис. – Пермь: автореф. дис.... канд. техн. наук, 2022.
3. Корнев А.Б., Каразанов К.О., Давыдов Е.А., Березин Е.К. Материаловедческий анализ восстановительной наплавки пальцев цепи черпакового земснаряда пр. Р-36 // Речной транспорт (XXI век) № 1 – 2023 – С. 52 – 56
4. Паркин А.А., Жаткин С.С., Минаков Е.А., Семин А.Б. Структура и износостойкость многослойного карбидосодержащего покрытия после ацетиленокислородной наплавки // Известия МГТУ. – 2014. – №4 (22).

5. Пугачева Н.Б., Николин Ю.В., Быкова Т.М., Горулева Л.С. Химический состав, структура и микротвердость многослойных высокотемпературных покрытий // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2022. – Т. 24, № 4. – С. 138 – 150. – DOI 10.17212/1994-6309-2022-24.4-138-150.
6. Шицын Ю.Д., Терентьев С.А., Неулыбин С.Д., Артемов А.О., Белинин Д.С. Плазменная наплавка разнородных материалов на токе прямой и обратной полярности // Сварка и диагностика: сборник докладов международного форума (Екатеринбург, 25 – 27 ноября 2014 г.). – Екатеринбург, 2015. – 2015. – С. 182 – 187.
7. Рябцев И.А. и др. Структура многослойных образцов, имитирующих наплавленные инструменты для горячего деформирования металлов // Автоматическая сварка. – 2013. – №. 9. – С. 43 – 47.
8. Luo K. Y. et al. Microstructural evolution and characteristics of bonding zone in multilayer laser cladding of Fe-based coating // Journal of Materials Processing Technology. – 2019. – Т. 263. – С. 50 – 58.
9. Thawari N. et al. Effect of multi-layer laser cladding of Stellite 6 and Inconel 718 materials on clad geometry, microstructure evolution and mechanical properties // Materials Today Communications. – 2021. – Т. 28. – С. 102604.
10. РД 31.52.12-88 Судовые гребные валы. Восстановление электродуговой наплавкой перлитными и аустенитными сталями

