

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С КАРБИДАМИ ВОЛЬФРАМА ТЕХНОЛОГИЕЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

Михаил Валентинович Лукьянов

*Студент 6 курса,
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Р.С. Третьяков,
кандидат технических наук, ассистент кафедры «Лазерные технологии в
машиностроении»*

Введение

Развитие современной техники предъявляет все более жесткие требования к материалам, а повышение износостойкости деталей является актуальной задачей для многих отраслей промышленности. Перспективным вариантом решения этой задачи является нанесение на детали, подверженные интенсивному износу, композиционных покрытий.

Композиционный материал (КМ) – неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить упрочняющие или армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу, обеспечивающую совместную работу армирующих элементов. Свойства этих материалов в основном зависят от физико-механических свойств компонентов и прочности связи между ними. Отличительной особенностью материалов является то, что в них проявляются достоинства компонентов, а не их недостатки. Вместе с тем композиционным материалам присущи свойства, которыми не обладают отдельные компоненты, входящие в их состав. Для оптимизации свойств выбирают компоненты с резко отличающимися, но дополнительными друг от друга свойствами [1]. Композиционные материалы имеют высокие показатели удельной и усталостной прочности, обладают повышенной износостойкостью, обеспечивают размерную стабильность конструкции. В настоящий момент актуально создание и внедрение инновационных конструкционных материалов с высокими физико-механическими свойствами. Среди конструкционных материалов получают широкое распространение карбидостали – композиционные материалы, состоящие из легированной стали и карбидов с массовой долей от 20 до 70%. По своим свойствам они занимают промежуточное положение между сталями и твердыми сплавами [2]. Использование карбида вольфрама в качестве упрочняющей фазы в стальной матрице позволяет повысить твердость, прочность и износостойкость.

Получение композиционного материала возможно либо расплавлением матрицы и добавлением упрочняющих частиц, либо переплавкой всех компонентов с последующим выделением требуемых структур. В первом случае необходимо расплавить лишь матрицу, сохранив в карбиде исходную структуру. Во втором случае необходимо расплавить весь материал без значительного испарения, и уже из общей жидкой ванны получить выделившиеся при кристаллизации упрочняющие фазы. Если это осуществляется с помощью неконцентрированных источников энергии, высокие погонные мощности процесса ведут к значительному разогреву подложки и её

деформации. Концентрированные источники позволяют нагреть подложку и наплавляемый материал точно, с минимальным вводом теплоты. К концентрированным источникам теплоты относят электронно-лучевые и лазерные источники.

Лазерная наплавка заключается в послойном локальном расплавлении порошков и их сплавлении с поверхностью обрабатываемого металла, в связи с этим, погонные мощности процесса ниже, чем при применении дуговых и плазменных методов, соответственно, тепловое воздействие на подложку минимально [3]. Благодаря локальности воздействия и гибкости регулирования параметров процесса получение композитного покрытия методом лазерной наплавки позволяет наносить большое разнообразие наплавляемых материалов и их комбинаций.

Материалы и оборудование

Процесс лазерной наплавки проводился на роботизированном лазерном комплексе с использованием волоконного лазера (робот ABB IRB 2400 + вращатель МТС-250; волоконный лазер ЛС-4К). Лазерное распылительное сопло с многоструйной подачей порошка (голова для наплавки YC-50) обеспечило нанесение валиков шириной около 4 мм и высотой 1-1,2 мм за один проход. Толщина слоя при перекрытии 50% составляла для опытных составов 2 – 2,5 мм. Таким образом, требуемая толщина слоя достигается за меньшее число термических циклов нагрева окружающего металла до высоких температур, более 800°C. Подача порошкового материала осуществлялась с помощью дозатора имеющего 2 колбы.

В качестве присадочного материала использовался металлический порошок, полученный методом газовой атомизации расплава. Гранулометрический состав частиц соответствует требованиям технического задания: все используемые порошки имеют размер фракции от 40 до 150 мкм. Химический состав использованных порошков представлен в таблице 1, теплофизические свойства – в таблице 2. Порошки на никелевой основе являются самофлюсующимися сплавами с высокой коррозионной стойкостью и стойкостью к абразивному износу.

В качестве упрочняющей фазы использовались два вида карбидов вольфрама: колотые и агломерированные карбиды. Агломерированные карбиды вольфрама в кобальтовой обвязке, представляют собой мелкие колотые карбиды, объединенные в сферические частицы с помощью кобальтовой основы. Такие карбиды вплавляются в матрицу и образуют сплошной равномерный переход без искажений решетки и образования микродефектов.

Таблица 1. Химический состав порошков, использованных для создания покрытия

Марка порошка	Содержание элементов, %							
	C	Fe	Co	Ni	Cr	W	Si	B
ПГСП-4	0,75	3,7	-	основа	28,5	4,4	1,0	3,1
ПР-НХ	0,73	4,38	-	основа	15,9	-	3,18	2,65
WC/Co	8	-	12	-	-	80	-	-
WC	12	-	-	-	-	88	-	-

Таблица 2. Теплофизические свойства использованных порошков

Марка порошка	Теплофизические свойства		
	Температура плавления, С	Плотность, г/см ³	Твердость, HRC
ПГСП-4	1100	8	60-62
ПР-НХ	1100		47-50
WC/Co	1350-1400	11	-

Наплавка на опытные образцы

Наплавке проводилась на экспериментальные образцы размером 50x30x20 мм. Производилось варьирование режимов и процентного содержания карбидов вольфрама. Для исключения трещин использовался предварительный подогрев заготовок до температуры 450 °С.

Никелевый сплав типа ПГСР-4

При наплавке на экспериментальные образцы размером 50x30x20 мм трещин и пор не выявлено, карбиды остались нерастворенными (рис. 1-2). На рисунке 1 представлена макроструктура зоны сплавления с подложкой. Сплавление ровное, карбиды распределены равномерно по всей толщине и протяженности покрытия. Наплавка производилась в один проход, толщина покрытия составила 2,2 мм. Твердость покрытия составила при различных значениях содержания карбида вольфрама от 61 до 67 HRC (таблица 3). С увеличением содержания карбидной фазы в наплавленном слое происходит повышение твердости и хрупкости, поэтому оптимальное содержание WC/Co (40 % по объему) выявлено в образце № 1, так как этот образец отличается наиболее равномерным распределением карбидов по толщине и протяженности покрытия.

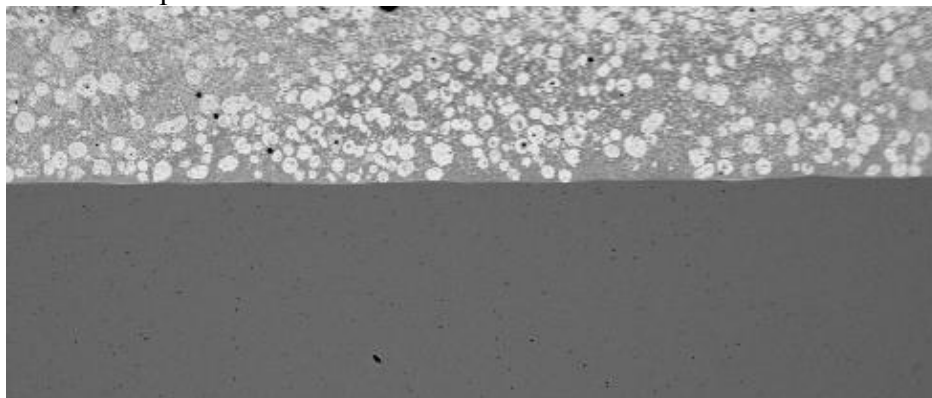


Рис. 1. Зона сплавления основного металла и наплавленного слоя

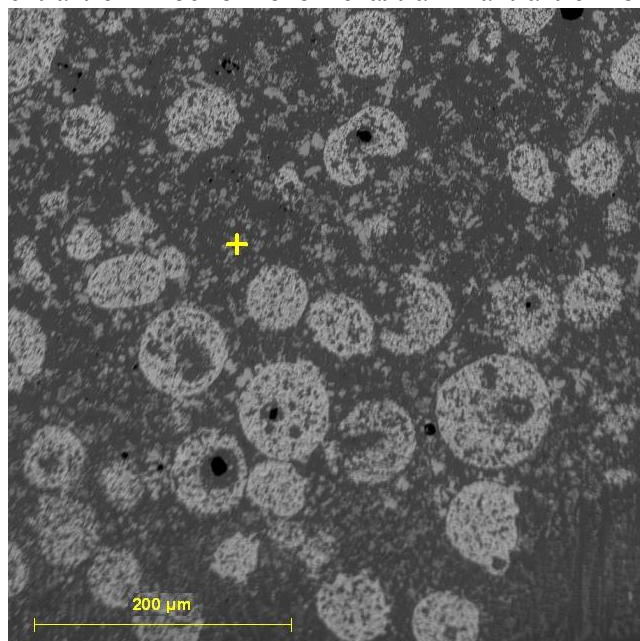


Рис. 2. Нерастворенные карбиды и микропоры внутри частиц порошка

Таблица 3. Значения твердости на образцах лазерной порошковой наплавки

	ПГСП-4	WC/Co	№ образца	HRC
Доля материала, % по объему	60	40	1	65-66
	50	50	2	61-66,5
	40	60	3	64-67,5

В результате предварительных исследований образцов принято решение наплавлять данный сплав на опытные детали. Однако механическая обработка сплава с такой высокой твердостью привела к его разрушению.

Никелевый самофлюсующийся сплав типа ПР-НХ16СР3

Используемый никелевый сплав с меньшей, чем в первом случае, твердостью (не более 50 HRC), является самофлюсующимся. Анализируя предварительные исследования, было принято решение наплавлять данный сплав на опытные детали с добавлением колотых карбидов вольфрама. На образцы было нанесено 4 варианта состава на различных режимах (таблица 4).

Таблица 4. Исследованные режимы нанесения композиционных покрытий на основе никелевого сплава ПР-НХ

№ образца	ПР-НХ, % по объему	WC/Co, % по объему	Мощность лазерного излучения, Вт
1	55	45	2 000
2	60	40	2 000
3	50	50	1 800
4	50	50	2400

Процесс нанесения материала являлся стабильным, в широком окне режимов формирования слоев равномерное. Покрытия, обработанные шлифованием, показаны на рисунке 3.

Результаты исследований. Образцы с №№1 и 3 показали высокую износостойкость, сравнимую с требуемой. Образцы, нанесенные на режимах №№2 и 4 – сравнительно меньшую износостойкость. Наиболее подходящим признано покрытие с №1, однако в нем присутствуют дефекты – пористость. Данный дефект было необходимо устранять технологическими мерами:

1.Тщательная подготовка поверхности заготовки: обезжиривание, очистка, предварительный подогрев.

2.Подготовка порошковой смеси: просев, просушка.

3.Повышение погонной мощности процесса для компенсации рассеяния тепла в массивной детали.

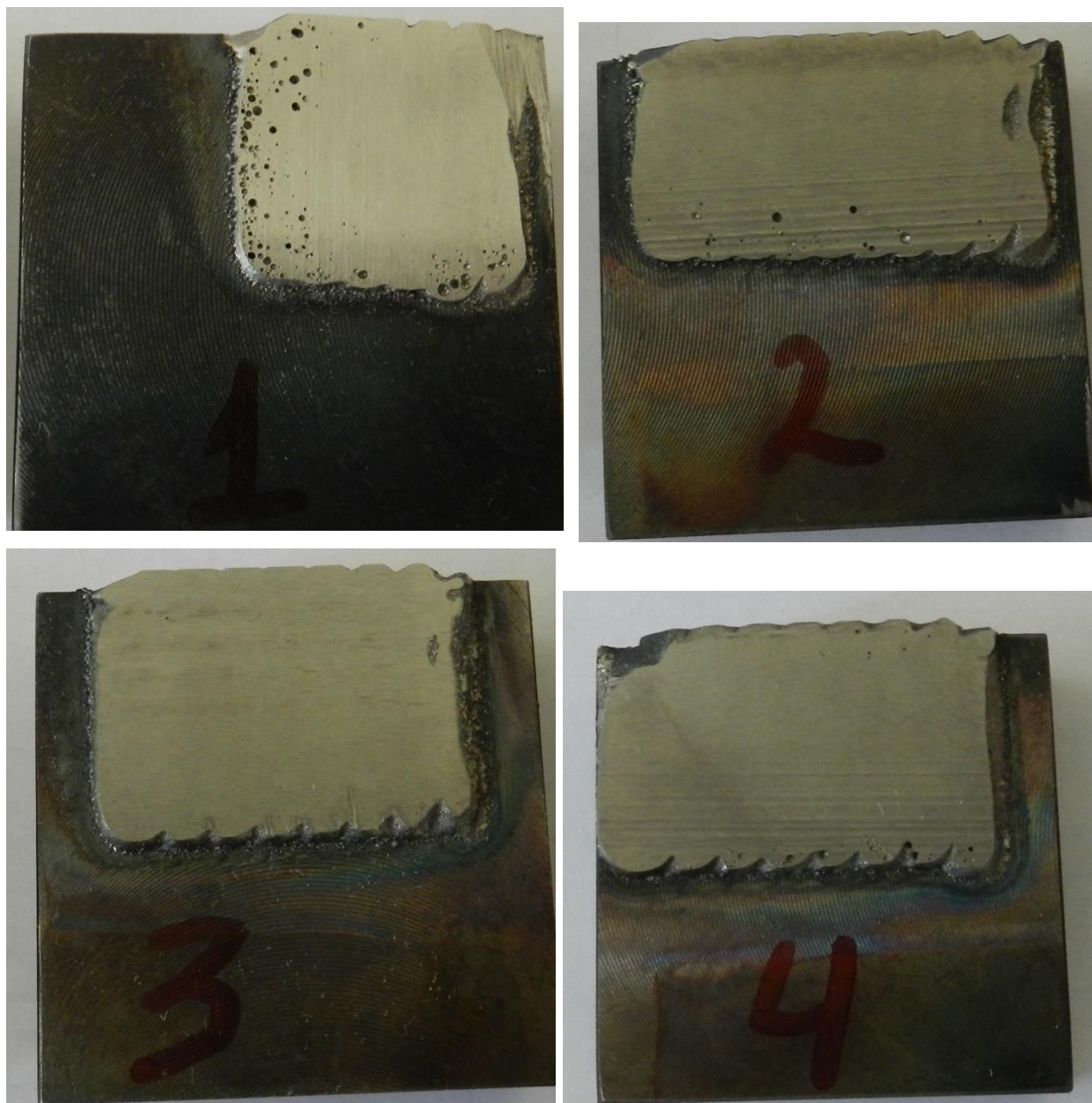


Рис. 3. Образцы наплавки №1-4 после обработки шлифованием

Наплавка на образцы с рабочими размерами

Наплавка производилась на очистные ножи для повышения износостойкости. Процесс наплавки на детали с реальным размером отличается по картине распределения температур от процесса наплавки на небольшие заготовки. По этой причине режимы, полученные на предварительном этапе, пришлось корректировать для наплавки на больших деталях. Наплавлялся состав на основе никелевого самофлюсующегося сплава типа ПР-НХ16СРЗ с добавлением колотых карбидов вольфрама.

В результате серий экспериментов на сплаве ПР-НХ16СРЗ с добавлением карбидов вольфрама в кобальтовой обвязке установлено, что стабильность процесса нанесения не получена, карбиды расположены равномерно, однако износостойкость таких покрытий одновременно с высокой трещиностойкостью достигнуть не удалось. Поэтому принято решение использовать в качестве упрочняющих частиц колотый карбид вольфрама. Размер фракций составляет 50-150 мкм, частицы имеют неправильную форму и более крепко держатся в вязкой матрице.

Порошковая смесь из ПР-НХ16СР3 и колотых карбидов вольфрама наплавлена на участок ножа в рабочем размере на режиме, указанном в таблице 5.

Таблица 5. Рабочий режим нанесения покрытия

Параметр	величина
Мощность, %	36-38
Скорость перемещения, мм/с	5
Шаг между валиками, мм	2,5
Расход порошка ПР-НХ16СР3, % по объему	60
Расход порошка WC, % по объему	40
Подложка	сталь 20
Подогрев, градусов С	550
Примечания	подогрев в сборе с оснасткой; толщина слоя по выступам валиков - 2,2 – 2,4 мм

В ходе работы после серии экспериментов на рабочих ножах был установлен режим нанесения и состав покрытия. На этом режиме нанесено покрытие на опытный нож (рисунок 4). При обработке на рабочем торце обнаружались сколы и отдельные трещины, однако покрытие не разрушилось. Полученная деталь показала износостойкость в реальных рабочих условиях выше требуемой.



а)



б)

Рис. 4. Работоспособный нож после нанесения покрытия, а) – вид сверху, б) – вид сбоку

Результат исследований

В результате проведенных исследований был разработан композиционный состав, состоящий из никелевого самофлюсующегося сплава (ПР-НХ16СР3) с добавлением колотых карбидов вольфрама (WC). Объемное соотношение компонентов состава: 60% никелевого сплава ПР-НХ16СР3 и 40% колотых карбидов вольфрама. Массовое соотношение составляет: 44% - ПР-НХ16СР3 и 56% - карбиды вольфрама. Окончательный режим нанесения представлен в таблице 6. Химический состав порошкового материала ПР-НХ16СР3 представлен в таблице 7. Карбиды вольфрама имеют размеры фракций 50 – 150 мкм.

Установлено, что при нагрузке в виде гидроабразивного износа композиционные сплавы с использованием колотых карбидов вольфрама проявили более высокую износостойкость, чем сплавы с агломерированными карбидами. По-видимому, это связано с прочностью сцепления отдельных частиц с вязкой матрицей. Более твердый сплав ПГСР-4 оказался непригоден в качестве вязкой матрицы основы по причине высокой твердости и хрупкости, приведших в процессе механической обработки к механическому разрушению всего покрытия, его растрескиванию. В таблице 6 указаны параметры технологии наплавки для получения покрытия с оптимальными свойствами.

Таблица 6. Параметры режима нанесения композиционного покрытия, признанного оптимальным

Параметр	Величина
Мощность лазерного излучения	1900 Вт
Скорость перемещения лазерного луча	5 мм/с
Расход порошка	6 об.ед. – ПР-НХ16СР3 (63-120 мкм) 4 об. ед. – WC колотый (50-150 мкм)
Шаг между валиками	2,5 мм
Предварительный подогрев	550 градусов С

Таблица 7. Химический состав сплава ПР-НХ16СР3

	Содержание элементов, % по массе.					
Обозначение	Fe	Ni	C	Cr	Si	B
ПР-НХ	4,38	осн.	0,73	15,9	3,18	2,65

Выводы.

В результате проведенных исследований получено покрытие с требуемыми характеристиками, и выявлены наиболее оптимальные характеристики процесса: композиционный состав наносимого покрытия, объемное и массовое соотношение компонентов, а также режим нанесения. В настоящей работе указывается на перспективность использования лазерной наплавки для получения износостойких композиционных материалов.

Литература

1. Материаловедение : учебник для вузов / Арзамасов Б. Н., Макарова В. И., Мухин Г. Г. и др. ; общ. ред. Арзамасов Б. Н., Мухин Г. Г. - 6-е изд., стер. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. - 646 с. : ил.
2. *Новиченко Д.Ю.* Разработка и исследование процесса прямого лазерного изготовления детали из композиционного материала на основе стали и карбида титана: авто-реф. дис. ... канд. тех. наук / Д.Ю.Новиченко ; Моск. гос. тех. ун-т. им. Н.Э. Баумана – М., 2011. – 18 с.
3. Deposition of graded metal matrix composites by laser beam cladding. C. Theiler, T. Seefeld, G. Sepold/ Bias Bremen Institute of Applied Beam Technology, Germany