

Исследование качества покрытия чугуна при лазерной наплавке порошком ПГ-УС25

А.С. Иванов, к.т.н., Т.Г. Колмакова, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья

Прямое лазерное нанесение материала – аддитивный метод лазерной обработки, позволяющий послойно изготавливать металлические детали по заданной компьютерной модели в одном технологическом цикле [1]. В отличие от традиционных методов металлообработки с удалением материала (точение, фрезерование) или с изменением формы (ковка, штамповка) при прямом лазерном нанесении материала происходит постепенное наращивание материала, которое заключается в нанесении слоя материала путём расплавления основы и присадочного материала лазерным лучом. Порошковый материал транспортируется в зону обработки потоком инертного газа. Изготовленный материал имеет механические и физические характеристики, идентичные свойствам материала, полученного традиционной ковкой или литьём. Применение этой технологии уменьшает общее время производства и стоимость детали. Благодаря смешиванию различных порошков во время технологического процесса, возможно получение сложных композиций с уникальными эксплуатационными свойствами [2, 3].

Объектом исследования являлась чугунная деталь (рис. 1) [4]. При исследовании поперечного сечения данной детали отмечено, что в участках с меньшей степенью растворения графита образуется мартенсито-сорбитная структура с твёрдостью 6.5 – 7.0 ГПа.

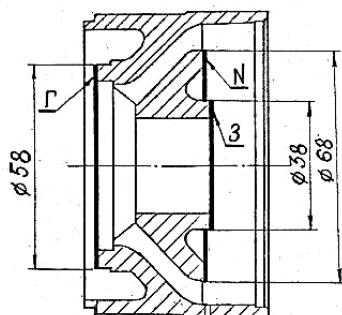


Рис. 1 – Наплавляемые поверхности чугунной детали

Поэтому при лазерной наплавке поверхностей, которые подвергались интенсивному износу, целесообразно проводить лазерную закалку тех поверхностей, износ которых возможен в процессе последующей эксплуатации [5 – 7].

Материал и методы исследования. Для получения покрытий выбран способ газопорошковой лазерной наплавки. Получение покрытия с заданными параметрами (химическим составом, размерами и качеством наплавляемых валиков) зависит от режимов облучения: мощности, скорости обработки,

размеров фокального пятна, расхода порошка и способа его подачи [8].

При выборе предварительных режимов обработки в качестве материала основы использовали сталь Ст 3. Применение стали объясняется двумя причинами. Во-первых, наплавляемые детали отличаются сложностью конструкции, разной толщиной стенок, так что вырезать образец приемлемых размеров не удаётся. Во-вторых, наплавка чугуна сопровождается интенсивным газовыделением из-за выгорания графита и соответственно повышенной пористостью покрытия, вследствие чего составить объективное заключение о качестве покрытия затруднительно. Образцы из стали Ст 3 имели размеры 40×40×10 мм. Для уточнения режимов обработки наплавку проводили на деталях. Для исследования наплавленного слоя использовались металлографический, дюрOMETРИЧЕСКИЙ и микроРЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫЙ методы.

Микроструктуру, микротвёрдость и распределение элементов по глубине наплавленного слоя изучали на шлифах, изготовленных в поперечном сечении образца или детали. Микроструктуру основы исследовали на нетравленных шлифах и после травления в 4%-ном растворе азотной кислоты. Исследование наплавки на стали из порошка ПГ-УС25 проводили после травления в реактиве состава: 50 см³ соляной кислоты и 100 см³ этилового спирта при температуре 60°С в течение 20 – 30 с. Наплавки из порошка ПГ-УС25 (только на чугунной основе) травили электролитически в реактиве состава: 95 см³ этилового спирта, 5 см³ соляной кислоты, 1 см³ уксусной кислоты при напряжении 3 В, токе 100 мА в течение 5 с. Микротвёрдость покрытий измеряли по их толщине на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузках 0,49 и 0,98 Н.

Исследование распределения элементов в наплавленном слое проводили на рентгеновском микроанализаторе КАМЕКА MS-46 при ускоряющем напряжении 20 кВ вдоль линии. При этом спектрометры настраивали на рентгеновские линии, распределение которых необходимо изучить. Перемещая электронный пучок вдоль выбранного направления (перемещая образец), записывали на потенциометре изменения интенсивности излучения, т.е. концентрационные кривые распределения элементов.

Лазерная обработка образцов и опытной партии деталей проводилась на установке непрерывного действия ЛТИ-2М с длиной волны лазерного излучения 10,6 мкм. Порошок из питателя тарельчатого типа в потоке аргона транспортировался по трубке и циклону в зону обработки. Применение циклона предотвращает сдув порошка газовой струёй и увеличивает коэффициент его использования. При наплавке использовалось сканирование луча по круговой

траектории, диаметр сканирования соответствовал ширине наплавляемой кольцевой поверхности, чтобы процесс осуществлялся за один оборот детали. После наплавки по всему кольцу подача порошка прекращается, мощность плавно понижается на следующей четверти оборота. Постепенное снижение мощности уменьшает вероятность образования трещин в наплавленном слое и улучшает качество поверхности на стыке наплавляемого валика. При наплавке деталей использовались технологические вставки из меди, которые ограничивают ширину наплавляемого валика и формируют его боковые поверхности, поэтому качество последних зависит от шероховатости поверхности медных вставок. Вставки должны иметь максимально возможную массу для уменьшения разогрева и сварки с наплавляемой деталью.

В качестве материала для наплавки использовались самофлюсующиеся порошки, их смеси, а также добавки к ним железного порошка марки ПЖ1. Порошки имели гранулометрический состав 50–160 мкм. Химический состав наплавляемых порошков (по средним значениям) приведён в таблице 1. Порошки перед наплавкой просушивали при температуре 100–150°C в течение 1 часа.

Порошок транспортировался аргоном или углекислым газом под давлением 50 МПа и насыпался перед лучом или непосредственно в зону воздействия излучения. Последнее возможно при использовании порошков одной фракции с размером частиц не менее 50 мкм. Вращатель обеспечивал регулировку скорости от 0,4 до 20 об/мин. Расход порошка регулировался по зазору питателя в пределах 1–10 г/мин.

Результаты исследования. Исследованы детали, наплавленные порошком ПГ-УС25–20 Fe. С целью уменьшения содержания углерода в наплавленном слое для предотвращения кристаллизационных трещин к ПГ-УС25 добавляли 20% железного порошка ПЖ1. Наплавку направляющего аппарата проводили по режиму: мощность–1,2 кВт, скорость вращения детали–1 об/мин, расход порошка–2,0–2,2 г/мин, диаметр сканирования–3,5–5,0 мм (соответствует ширине наплавляемого кольца). Качество наплавленного валика порошком такого состава лучше, чем ПГ-С2Р3 и ПГ-ФБХ-6–2. Наплавленные валики преимущественно имели качественное формирование. Поры на границе сплавления образовывались в том случае, когда высота наплавленного валика превышала 1,5 мм. Очевидно, при такой высоте валика верхние слои успевают затвердеть, а газы не успевают выделиться. На рисунке 2 представлена микроструктура переходной зоны от основного

металла к наплавке. В зоне термического влияния на значительном удалении от линии сплавления уже образовались поры, но в самой переходной зоне поры отсутствуют. При значительной толщине валика в переходной зоне, остаются поры. Качественное формирование валика происходит в том случае, когда образуется переходная зона переменного состава с постепенным изменением содержания химических элементов.

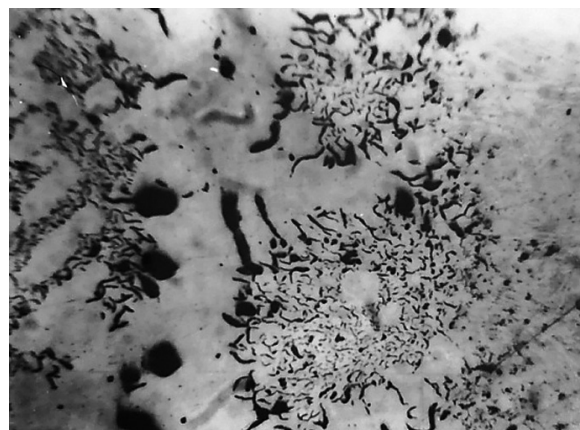


Рис. 2 –Микроструктура переходной зоны при наплавке порошком ПГ-УС25–20 Fe (увеличено в 360 раз, нетравленный шлиф)

При наплавке порошками на основе железа обычно формируется дендритная структура. Во время роста дендритов в процессе кристаллизации происходит междендритная ликвация элементов, что хорошо иллюстрируют концентрационные кривые распределения элементов (рис. 3).

В осях дендритов имеем твёрдый раствор хрома с железом на основе хрома. В междендритные промежутки ликвируют железо в фазе с никелем и кремнием. Марганец по покрытию распределён равномерно, его содержание составляет 1,5%. Содержание кремния и никеля в осях дендритов падает до нуля. Распределение элементов в наплавке поверхности детали представлено в таблице 2.

При наплавке аналогичного порошка на поверхность «N» (рис. 1) диаметром 68 мм при тех же режимах наплавки получили покрытие толщиной 0,4 мм. По результатам рентгеноспектрального микроанализа следует, что при наплавке произошло сильное перемешивание с основой. Ликвационных процессов по толщине наплавки не наблюдается. Элементы распределены равномерно, при этом содержание хрома монотонно увеличивается от линии сплавления к кромке образца, а содержание железа при этом уменьшается. Равномерность распреде-

1. Химический состав исследованных порошков

Марка	Содержание элементов,% по массе								
	C	Ni	Cr	Si	Fe	Mn	B	Ti	N
ПГ-УС25	4,9	1,4	38	2,1	осн.	2,5	-	-	-
ПГ-УС25–20Fe	3,92	1,12	30,4	1,68	осн.	2,0	-	-	-

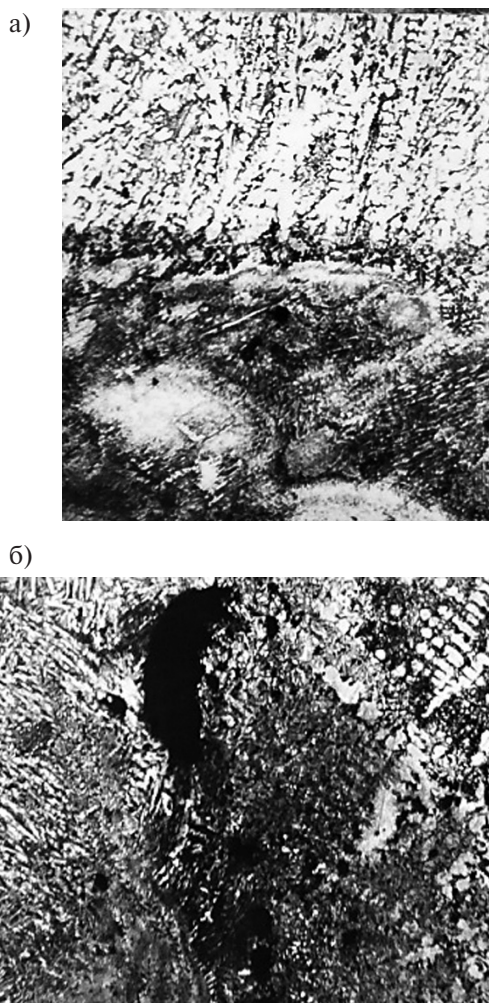


Рис. 3 – Микроструктура наплавки из порошка ПГ-УС25–20Fe (увеличено в 130 раз): а–общий вид; б–переходная зона, наплавка слева

ления элементов обуславливается дисперсностью структурных составляющих. При меньшей толщине слоя скорость охлаждения выше, дендриты меньше и с разной направленностью осей.

Наплавки такого состава отличаются высокой твёрдостью прежде всего за счёт образования карбидов хрома. Валик, наплавленный на поверхность «3» (диаметр 38 мм), практически при отсутствии перемешивания с основой имеет твёрдость 8–9 ГПа (рис. 4). Повышенной твёрдостью отличается и зона термического влияния. Здесь происходит растворение графита и образование вследствие этого закалённой структуры. В зависи-

2. Распределение элементов в наплавке поверхности «3» детали порошком ПГ-УС25–20Fe

Зона	Содержание элементов,% массы				
	Fe	Cr	Mn	Si	Ni
Оси дендритов	20–30	55	1,5	0	0
Междендритные прослойки	до 70	10–12	1,5	до 3	2,7–3,0

мости от режимов образуются мартенсит, аустенит, карбиды в различном соотношении и распределении. Нерастворившиеся графитные включения дробятся и образуется дисперсная структура.

Расстояние от поверхности, мм

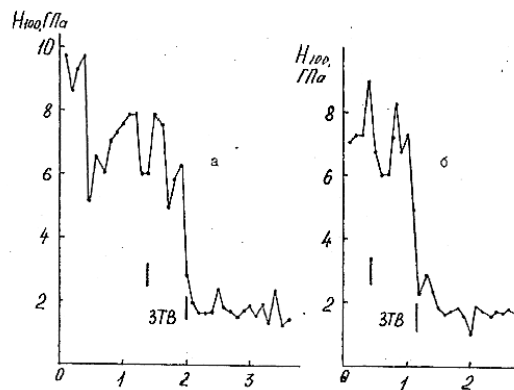


Рис. 4 –Микротвёрдость покрытия из порошка ПГ-УС25–20Fe, мощность 1,2 кВт, поверхность: а–диаметр 38 мм; б–диаметр 68 мм

Выводы. В зоне термического влияния качественное формирование валика происходит в том случае, когда образуется переходная зона переменного состава с постепенным изменением содержания химических элементов. Здесь происходит растворение графита и образование вследствие этого закалённой структуры, что обеспечивает значительное повышение чугунных наплаваемых деталей износостойкости в 3–4 раза. Качество наплавленного валика порошком такого состава лучше, чем ПГ-С2Р3 и ПГ-ФБХ-6–2.

Литература

1. Григорьянц А. Г., Новиченко Д. Ю., Смуров И. Ю. Лазерная аддитивная технология изготовления покрытий и деталей из композиционного материала // Известия высших учебных заведений. 2011. № 7. С. 38–39.
2. Пилев В. Г., Торсунов М. Ф., Морозов Е. А. Лазерное легирование чугуна нирезист ЧН16Д7ГХ подачей порошка ВТ-20 в зону оплавления // Металлообработка. 2016. № 5 (95). С. 25–30.
3. Chen Z.–K., Zhou T., Zhao R.–Y., Lu S.–C., Yang W.–S., Zhou H., Zhang H.–F. Improved fatigue wear resistance of gray cast iron by localized laser carburizing. Materials Science and Engineering: A. 2015. Т. 644. С. 1–9.
4. Иванов А. С., Колмакова Т. Г. Исследование лазерной наплавки чугуна подачей порошка ПГ-ФБХ-6–2 в зону оплавления // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3(77). С. 167–173.
5. Александров В. Д., Шашков Д. П., Пищулин Д. Н. Лазерная обработка чугунных изделий // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). 2006. № 6. С. 28–35.
6. Токарев А. О. Улучшение триботехнических характеристик серого чугуна лазерной обработкой // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 1. С. 69–73.
7. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / под ред. В. Я. Панченко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 664 с.
8. Иванов А. С., Колмакова Т. Г. Исследование покрытий на стальных деталях сельскохозяйственной техники, нанесённых с помощью газопорошковой лазерной наплавки // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 5(73). С. 172–176.