

Исследование лазерной наплавки чугуна подачей порошка ПГ-ФБХ-6-2 в зону оплавления

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

Микроструктура чугуновых наплавляемых деталей имеет различное строение в зависимости от размера и расстояния от поверхности [1, 2]. При исследовании поперечного сечения чугунной детали (рис. 1) отмечено, что деталь имеет ферритно-перлитную структуру (рис. 2) как и большинство деталей из чугуна [3].

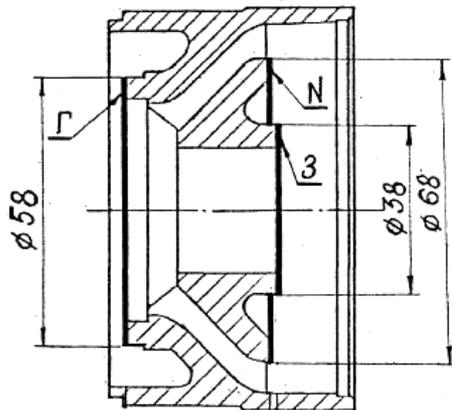


Рис. 1 – Наплавляемые поверхности чугунной детали

Содержание перлита в разных сечениях колеблется в пределах 30–70%. У графита во внутренних

частях детали пластинчатая гнездообразная форма, однако ближе к поверхности ширина пластин графита увеличивается. Количество аустенита в структуре незначительно. При лазерном нагреве происходит измельчение структуры: величина графитных пластин уменьшается со 150–200 мкм до 20–40 мкм в оплавленной зоне, далее по глубине размер их увеличивается до исходного значения (рис. 3). В оплавленной зоне графит частично растворяется, частично выгорает, образуя поры [4].

Поэтому при лазерной наплавке поверхностей, которые подвергались интенсивному износу, целесообразно проводить лазерную закалку тех поверхностей, износ которых возможен в процессе последующей эксплуатации [5, 6].

Материал и методы исследования. Для получения покрытий выбран способ газопорошковой лазерной наплавки [7]. 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.

При выборе предварительных режимов обработки в качестве материала основы использовали сталь Ст3. Применение стали объясняется двумя причинами. Во-первых, наплавляемые детали отличаются сложностью конструкции, разной толщиной



Рис. 2 – Микроструктура чугунной детали (увеличено в 360 раз)



Рис. 3 – Микроструктура чугуна зоны лазерного воздействия (увеличено в 360 раз)

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 Ст3 имели размеры 40×40×10 мм. Для уточнения режимов обработки наплавку проводили на деталях. Для исследования наплавленного слоя использовались металлографический, дюрметрический и микро-рентгеноспектральный 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-процентном растворе азотной кислоты. Наплавки из порошка ПГ-ФБХ-6-2 травил электrolитически в реактиве состава: 95 см³ – этиловый спирт, 5 см³ – соляная кислота, 1 см³ – уксусная кислота при напряжении 3 В, токе 100 мА в течение 5 с. Микротвёрдость покрытий измеряли по их толщине на микротвёрдомере ПМТ-3 при нагрузках 0,49 и 0,98 Н.

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°С в течение 1 часа.

Для исследования структуры и свойств наплавленного слоя заготовка детали, подлежащей восстановлению, обтачивалась по поверхностям Г, З, Н (рис. 1). Заготовка закреплялась в трёхкулачковом патроне вращателя по внешнему цилиндру, в отверстия вставлялись технологические пробки из меди. При обработке поверхности Г использовались вкладыши по внутреннему и внешнему диаметрам, при этом вкладыши несколько выступали – на 1,5–2,0 мм – над поверхностью Г, чтобы порошок подавался точно в канавку. 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. Были исследованы детали, наплавленные порошком ПГ-ФБХ-6-2. При наплавке порошком ПГ-ФБХ-6-2 изношенных поверхностей детали получали слои различного качества.

Основным дефектом являлось наличие пор, количество и расположение которых зависит от режимов обработки и толщины наплавляемого

1. Химический состав исследованных порошков

Марка	Содержание элементов, % по массе								
	C	Ni	Cr	Si	Fe	Mn	B	Ti	N
ПГ-ФБХ-6-2	4,5	-	34,5	1,75	осн.	2,75	1,65	-	-
ПГ-ФБХ-6-2/ПН55Т45*	3,42	13,7	25,9	1,31	осн.	2,06	1,23	11,25	0,025

Примечание: * порошки смешивали в соотношении 3/1 по массе.

слоя. Наплавку поверхности Г проводили по режиму: мощность 1,2 кВт, скорость вращения 2 об/мин, расход порошка 7 г/мин. Толщина наплавленного слоя на поверхности Г составляла 1,2–1,3 мм при зоне термического влияния (ЗТВ) 0,6 мм, на поверхности З наплавка 1,5 мм, ЗТВ – 0,6 мм, на поверхности N наплавка 0,6 мм, ЗТВ – 0,9 мм. При одинаковых режимах обработки наплавки имели аналогичные дефекты. Так, на поверхностях Г и З толщина наплавки и ЗТВ имели близкие значения, на границе сплавления покрытия с основным металлом образуются поры, а в некоторых случаях – трещины (рис. 4). Причины образования трещин не ясны, но, во всяком случае, пористость на границе сплавления оказывает существенное влияние, так как некоторые трещины являются каналами выхода газов.



а



б

Рис. 4 – Наплавка из порошка ПГ-ФБХ-6-2 (увеличено в 130 раз): а – общий вид; б – переходная зона

При малой толщине покрытия (поверхность N) газы, образовавшиеся при выгорании графита, успевали всплыть и удалиться с поверхности, при этом кристаллизационных трещин не обнаружено.

При высоте покрытия 1,3 мм глубина переходной зоны составляла 0,35 мм. Переходная зона представляет собой непрерывный ряд твёрдых растворов, в котором содержание железа монотонно убывает, а хрома и марганца возрастает. В среднем в переходной зоне содержится около 55% железа, 34% хрома, 4% марганца, 1,1% кремния.

Начиная от переходной зоны и до кромки образца, структура покрытия дендритная, причём размер дендритов увеличивался от переходной зоны к кромке покрытия. Соответственно с увеличением размера дендритов увеличивалась междендритная ликвация. Данные по содержанию элементов в осях дендритов и междендритных промежутках приведены в таблице 2.

2. Распределение элементов в наплавке порошком ПГ-ФБХ-6-2

Зона	Содержание элементов, % массы			
	Fe	Cr	Si	Mn
Оси дендритов	40	50	0	4,0–4,6
Междендритные прослойки	60	17–26	2,6	4,0–4,6

Из концентрационных кривых распределения элементов видно, что марганец распределён в покрытии равномерно. В осях дендритов содержание кремния падает до нуля, железа – до 40%, а содержание хрома увеличивается до 50%. В междендритных промежутках, наоборот, содержание хрома падает до 17–26% (в зависимости от величины дендрита), а железа и кремния увеличивается (Fe – до 60%, Si – до 2,6%).

Несмотря на междендритную ликвацию, поскольку размер дендритов достаточно мал, микротвёрдость покрытия была распределена достаточно равномерно (исключая переходную зону) и составляла 10,2–11,7 ГПа (рис. 5).

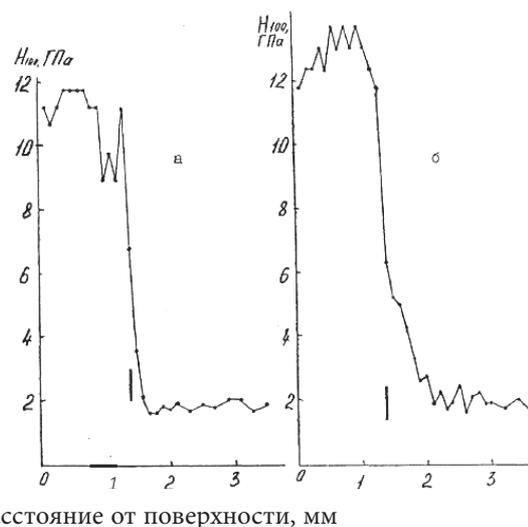


Рис. 5 – Микротвёрдость покрытия из порошка ПГ-ФБХ-6-2, мощность 1,2 кВт, поверхность: а – диаметр 58 мм; б – диаметр 38 мм.

Выводы. В участках с наиболее полным растворением графитных пластин формируется аустенито-мартенситная структура с твёрдостью до 8,0–9,5 ГПа. В участках с меньшей степенью растворения графита образуется мартенсито-сорбитная структура с твёрдостью 6,5–7,0 ГПа.

В зоне лазерного воздействия твердость чугуновых наплавляемых деталей повышается в 3–4 раза, что обеспечивает значительное повышение износостойкости.

Литература

1. Александров В.Д., Шашков Д.П., Пищулин Д.Н. Лазерная обработка чугуновых изделий // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). 2006. № 6. С. 28–35.
2. Гилев 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. Токарев А.О. Улучшение триботехнических характеристик серого чугуна лазерной обработкой // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 1. С. 69–73.
5. Колмакова Т.Г., Иванов А.С. Применение газопорошковой лазерной наплавки в сельскохозяйственной технике // Теория и практика современной аграрной науки: сб. национал. (всерос.) науч. конф. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2018. С. 182–185.
6. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / под ред. В.Я. Панченко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 664 с.
7. 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.