

УДК 621.9.019

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ДЕФЕКТНОГО СЛОЯ НА ДЕТАЛЯХ, ВЫРАЩЕННЫХ DMD-МЕТОДОМ

Д.В. Ардашев, А.А. Дюрягин, Д.М. Галимов

В работе исследован приповерхностный слой деталей, выращенных DMD-методом, с целью выявления дефектного слоя, необходимого для проектирования технологического процесса последующей обработки резанием таких деталей.

Ключевые слова: дефектный слой, аддитивные технологии, местное осаждение металла, припуск на обработку.

Введение

В настоящее время для производства различных деталей машиностроения все чаще используются аддитивные технологии, существенным достоинством которых является возможность выращивания сложнопрофильных деталей, которые невозможно или достаточно сложно получить традиционными методами, такими как резание, литье, штамповка и т. д.

Получение деталей с требуемым качеством аддитивными технологиями в настоящее время пока невозможно. Зачастую поверхность после выращивания детали не соответствует заданным требованиям, поэтому для получения окончательного изделия с соответствующими характеристиками качества и точности необходимо применять традиционные методы обработки резанием – точение, фрезерование и др.

В работе А.В. Дранкова [1] рассмотрено сравнение деталей, обработанных точением и фрезерованием, заготовки которых получены методом селективного лазерного спекания и методом проката. Результаты показали, что выращенный образец в состоянии заготовки не соответствует конструкторской документации, и требует дальнейшей механической обработки. После проведения обработки установлено, что обе детали соответствуют точностным параметрам и имеют аналогичные механические свойства. Suman Das и Martin Wohler, исследуя микроструктуру детали, полученной методом селективного лазерного спекания, установили, что поверхность не соответствует требуемым параметрам качества и точности. Обработка деталей проводилась при помощи метода изостатического прессования. Предварительная оценка микроструктуры и механических свойств показала, что материал, обработанный комбинированным методом, соответствует материалу, обработанному традиционным способом [2].

Известно, что проектирование операции механической обработки обычно начинается с определения глубины резания исходя из суммарного припуска. Следовательно, одной из первых задач, стоящей в настоящее

время, является задача определения величины дефектного слоя в соответствии с методикой профессора В.М. Кована [3].

Материалы и методы

Выращенные образцы из порошков материалов БрАЖ10 и Stellite 6 были получены DMD-методом на базе Южно-Уральского государственного университета с применением комплекса лазерной наплавки FL-Clad-R-4 [4].

Исследование микроструктуры и химический анализ проводились при помощи автоэмиссионного растрового электронного микроскопа GSM-7001F.

Измерение микротвердости образцов проводилось с использованием микротвердомера FM-800.

Результаты

При увеличении микрошлифов образцов визуально удалось обнаружить наличие слоя материала, отличающегося по свойствам от основного. На образце из бронзы заметна структура, в которой снижается концентрация железа и увеличивается концентрация меди. Это связано с отталкивающими свойствами железа по отношению к меди [5].

Измеренная величина дефектного слоя с учетом величины шероховатости на поверхности образца из бронзы изменяется в пределах 44,4–62,8 мкм (рис. 1).

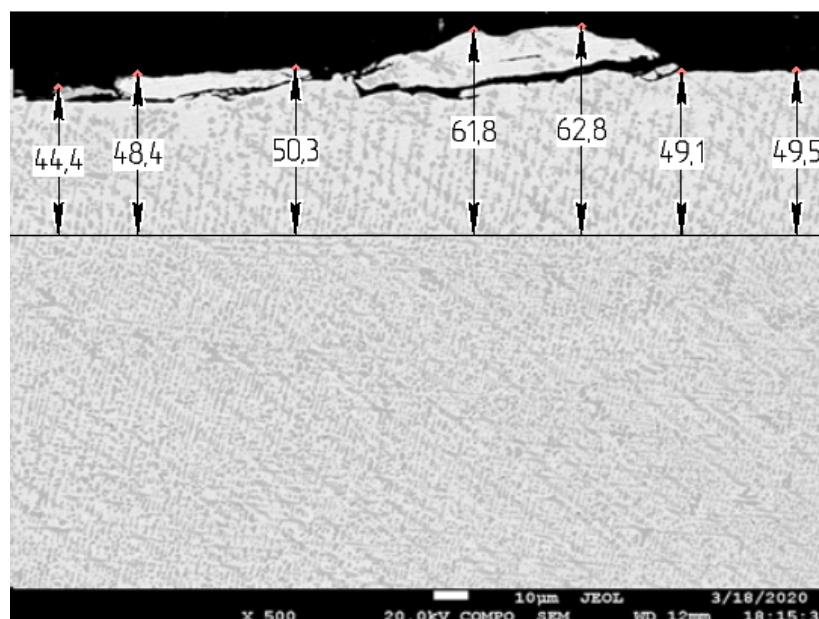


Рис. 1. Структура и величина дефектного слоя образца из бронзы

Поверхность образца из Stellite 6 имеет однородную структуру, при которой визуально наличие дефектного слоя установить не удалось. На поверхности обнаружены дефекты в виде макронеровностей, величина кото-

рых достигает 17,5 мкм (рис. 2). Величина макронеровностей перекрывается допуском на размер и не входит в составляющие для расчета припуска [3].

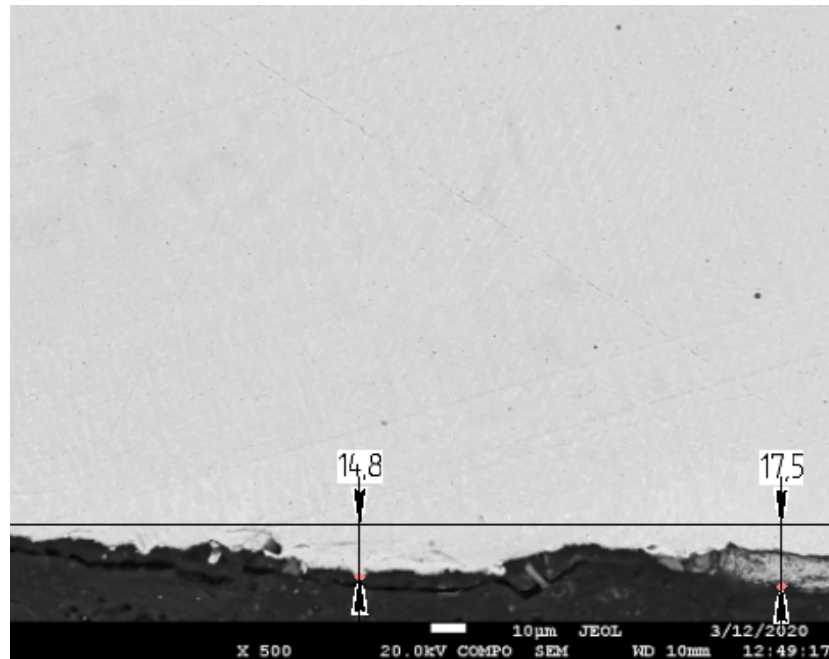


Рис. 2. Структура и величина макронеровностей образца из Stellite 6

В области рабочей зоны, где происходит процесс плавления порошка лазерным лучом, формируются вихревые потоки (рис. 3).

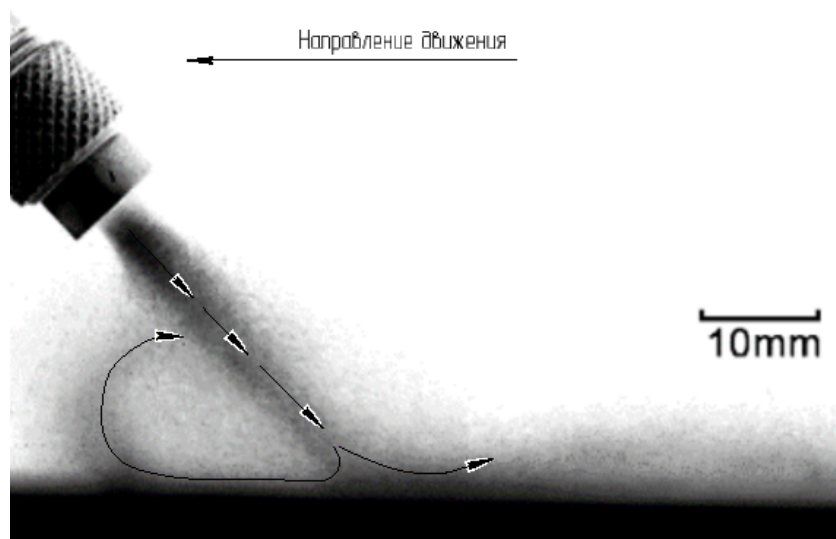


Рис. 3. Формирование вихревых потоков в рабочей зоне [6]

При нагревании поверхности подложки лазером возникает эффект Марангони, который связан с движением жидкости вблизи поверхности раз-

дела и вызван зависимостью поверхностного натяжения от температуры [6]. Поэтому при температуре наплавки выше температуры плавления материала подложки возникают неустойчивости, приводящие к перемешиванию жидкости, то есть образованию вихрей.

Для определения химического состава материала, образующегося в области вихревых потоков, был проведен химический анализ. Спектры 6 и 7 относятся к материалу подложки, 8 – материалу вихревых потоков, 9 и 10 – наплавленному материалу (рис. 4). По результатам анализа из таблицы видно, что химический состав материала в вихревых потоках отличается как от состава наплавленного материала, так и материала подложки.

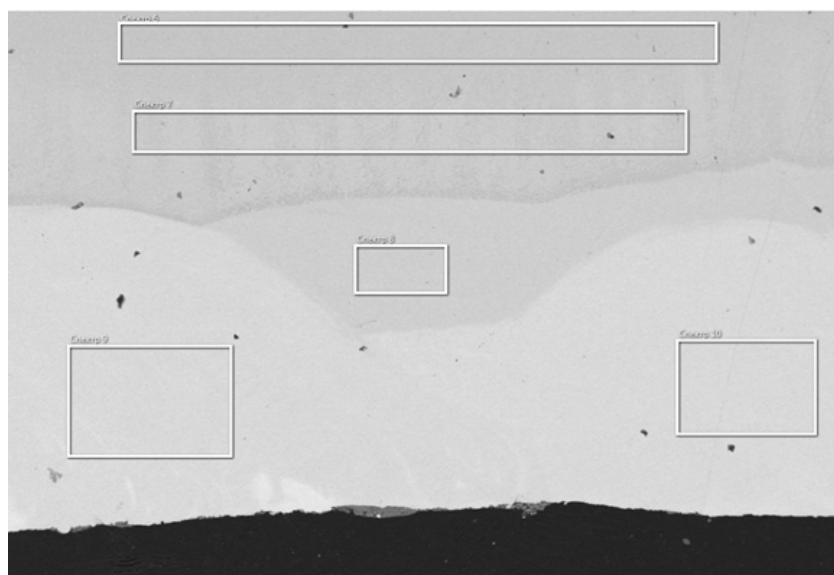


Рис. 4. Выбор спектров для проведения химического анализа

Таблица
Химический состав образца из Stellite 6

№ спектра	Si	Cr	Fe	Co	Ni	Mo	W
6	0,34	0,74	96,44	0,62	1,52	0,31	0,03
7	0,42	0,71	96,27	0,58	1,60	0,18	0,25
8	0,65	13,82	74,64	0,58	8,42	1,87	0,02
9	0,60	21,42	46,92	18,94	5,56	1,42	5,14
10	0,62	22,43	42,41	22,04	5,25	1,36	5,85

Таким образом, можно предположить, что при образовании вихревых потоков в совокупности с высокими температурами и высокой скоростью движения частиц порошка в зоне контакта с поверхностью расплавленного материала подложки попадает в вихревой поток, в результате чего образуется новый материал, в котором сокращается концентрация порошкового ма-

териала за счет его вытеснения материалом подложки. Величину вихревых потоков можно уменьшить применением меньшего диаметра сопла [7]. Периодичность образования вихревых потоков материала подложки можно объяснить изменением с течением времени геометрии ванны плавления [8].

Величина слоя, в котором происходят вихревые потоки, будет считаться дефектной, так как имеет отличные от основного материала свойства. Измеренная линейная величина дефектного слоя достигает 415,8 мкм для Stellite 6 (рис. 5, а) и 456,5 мкм для бронзы (рис. 5, б).

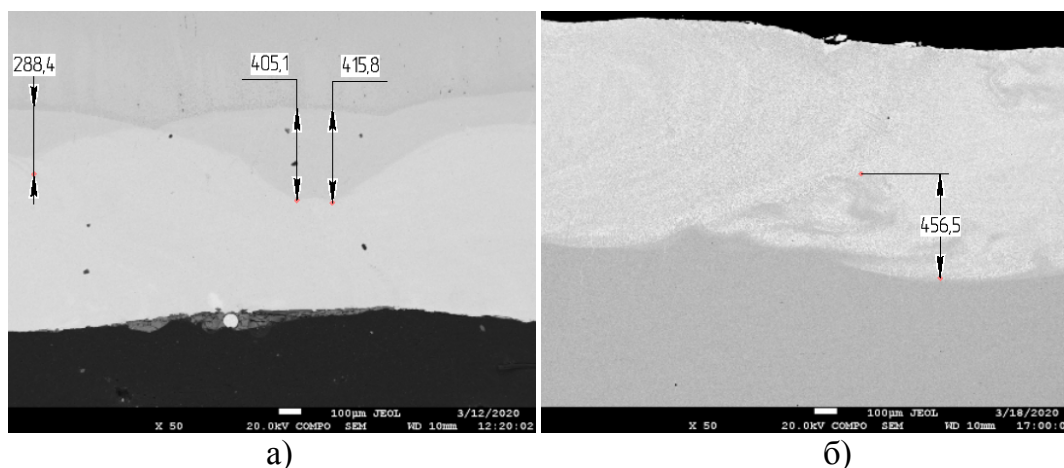


Рис. 5. Линейная величина вихревых потоков: а – Stellite 6; б – бронза

Результаты измерения микротвердости образца из Stellite 6 представлены на рис. 6. Микротвердость изменяется от 426 HV у поверхности наплавленного материала до 282 HV у поверхности подложки. Таким образом, из данных видно, что в зоне вихревых образований микротвердость наплавленного материала уменьшается, и это свидетельствует о наличии дефектного слоя, который необходимо удалить для получения однородных свойств.

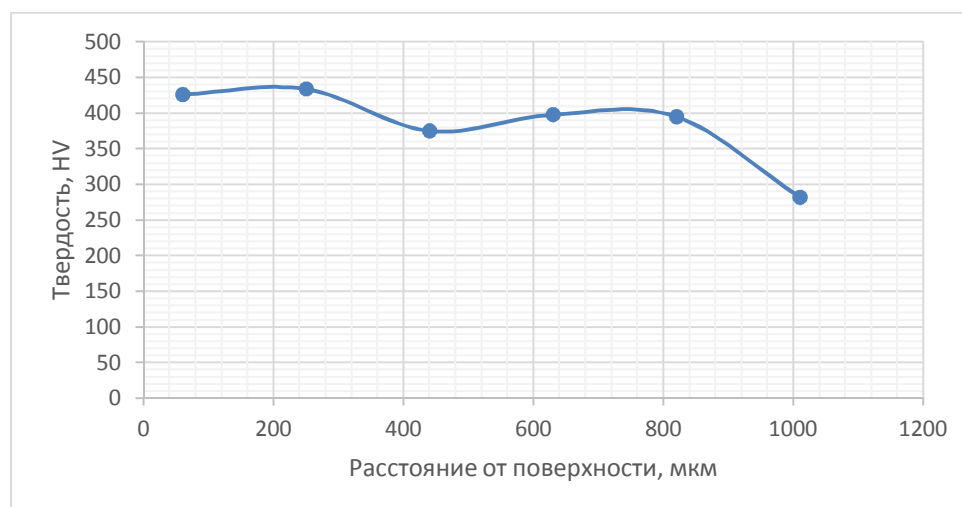


Рис. 6. Микротвердость образца из Stellite 6

Выводы

Определена линейная величина дефектного слоя на образце из бронзы, образовавшегося в результате отталкивающих свойств железа по отношению к меди. Величина дефектного слоя изменяется в пределах 44,4–62,8 мкм.

Установлено, что при образовании вихревых потоков в рабочей зоне возникает новый материал, отличающийся по свойствам и от наплавляемого материала, и от материала подложки. Измерена линейная величина вихревых потоков, являющаяся дефектным слоем, которая равна 415,8 мкм на образце из Stellite 6 и 456,5 мкм на образце из бронзы.

Установлено, что при приближении к поверхности подложки микротвердость наплавленного материала снижается, что свидетельствует о наличии слоя материала, отличающегося механическими свойствами, т. е. дефектного слоя. Измеренная микротвердость изменяется от 426 HV у поверхности наплавленного материала до 282 HV у поверхности подложки.

Библиографический список

1. Дранков, А.В. Изготовление деталей РКТ из отечественного порошка нержавеющей стали [Текст] / А.В. Дранков [и др.] // Аддитивные технологии. – 2019. – № 2. – С. 50–55.
2. Producing Metal Parts with Selective Laser Sintering/Hot Isostatic Pressing [Text] / S. Das et al. // JOM. – Denmark. – 1998. – № 50. – P. 17–20. – Refer.: p. 947.
3. Кован, В.М. Расчет припусков на обработку в машиностроении: справочное пособие [Текст] / В.М. Кован. – М.: МАШГИЗ. – 1953. – 210 с.: ил.: библиогр. – С. 202–203.
4. A Study of the Structural Characteristics of Titanium Alloy Products Manufactured Using Additive Technologies by Combining the Selective Laser Melting and Direct Metal Deposition Methods [Text] / M. Samodurova et al. // Materials. – Switzerland. – 2019. – 12 p. – Refer. – P. 10–12.
5. Бурова, Д.Н. Исследования и применения влияния магнитного поля на систему «железо–медь–вода» [Текст] / Д.Н. Бурова, И.С. Цебрук, Н.В. Классен. – С. 134–136.
6. Веденов, А.А. Физические процессы при лазерной обработке материалов [Текст] / А.А. Веденов, Г.Г. Глушуш – М.: Энергоатомиздат. – 1985. – 208 с.: ил.: библиогр. – С. 202.
7. Шпилев, А.И. Исследование и оптимизация газопорошковых потоков в головках для лазерной порошковой наплавки [Текст]: дис. к. т. н: 01.02.05: / А.И. Шпилев. – Казань, 2019. – 179 с. – Библиогр. – С. 156–168.
8. Бобученко, Д.С. Численное моделирование газопорошковой лазерной наплавки металлических материалов на подложки [Текст] / Д.С. Бобученко, В.К. Пустовалов // Матем. Моделирование. – 1991. – Т. 3, № 3. – С. 109–122. – библиогр. – С. 121–122.

[К содержанию](#)