

belarusi-v-2022-godu-statistika-i-prichiny-1064422919.html].
Дата обращения 07.11.2023 г.

Дата

3. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь.
Электронный ресурс- [<http://mlh.by/>]. Дата обращения 07.11.2023 г.

УДК 621.9.048.7

Е.П. Елисеева, А.П. Слива, Е.В. Терентьев
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Россия

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Аннотация. В работе рассмотрена технология модификации поверхности алюмоматричного композиционного материала ($AlMg3 + 5\%SiC$) электронным лучом. Определено влияние параметров обработки, а именно: скорости обработки, тока луча и типа развертки, на микроструктуру и механические свойства поверхности. Установлено, что электронно-лучевая модификация позволяет повысить твердость поверхности.

E.P. Eliseeva, A.P. Sliva, E.V. Terentyev
"National Research University "MPEI"
Moscow, Russia

ELECTRON BEAM MODIFICATION OF THE SURFACE OF AN ALUMINUM MATRIX COMPOSITE MATERIAL

Abstract. The paper considers the technology of surface modification of an aluminum matrix composite material ($AlMg3 + 5\%SiC$) by an electron beam. The influence of processing parameters, namely, processing speed, beam current and scan type, on the microstructure and mechanical properties of the surface is determined. It is established that the electron beam modification allows to increase the hardness of the surface.

Введение. Композиционные материалы являются классом гетерофазных материалов, состоящих из наполнителя и матрицы. В комбинации с алюминиевой матрицей, обладающей высокой пластичностью, в роли наполнителя могут выступать высокопрочные карбиды (например, SiC). Композиционные материалы на основе алюминия сочетают в себе хорошие механические и триботехнические

свойства, что обуславливает их применение в промышленности в качестве антифрикционных сплавов [1].

Модификация поверхности алюмоматричных композиционных материалов может быть осуществлена с помощью деформационной обработки накатыванием, виброударом, взрывом, электромеханической обработкой. Одним из перспективных методов является обработка поверхности концентрированными потоками энергии, такими как лазерный луч, сварочная дуга и электронный луч [2–4].

При применении методов поверхностной модификации, позволяющих изменять режимы обработки в широком диапазоне, появляется возможность регулировать скорость нагрева и охлаждения, время пребывания материала при высоких температурах и получать требуемую глубину оплавления, структуру и свойства поверхностного слоя. Так же обработка алюмоматричных композиционных материалов концентрированными потоками энергии снижает коэффициент поверхностного трения и повышает износостойкость [2].

Применение развертки электронного пучка при поверхностной модификации позволяет перераспределять плотность мощности [5], и увеличивать скорость охлаждения поверхности, что благоприятно влияет на структуру обработанного слоя.

Поскольку алюминиевые материалы склонны к высокому порообразованию, газовая защита, используемая при дуговых и лазерных способах модификации, не способствует уменьшению количества дефектов. Электронно-лучевая обработка производится в вакууме не хуже 10^{-2} Па, что обеспечивает активную дегазацию жидкого металла и уменьшение количества растворенных газов.

Таким образом, целью данной работы является исследование влияния параметров режимов электронно-лучевой модификации алюмоматричного композиционного материала на микроструктуру и микротвердость поверхности.

Методика. Модификацию поверхности осуществляли на алюмоматричном композиционном материале АМг3 + 5 мас. % SiC на установке АЭЛТК-344-12, с ускоряющим напряжением 60кВ и давление в вакуумной камере 10^{-3} Па.

В качестве первого типа развертки была использована поперечная развертки типа «прямая». При данном типе развертки пучок сканирует поверхность от одного края до другого и обратно, после чего перебрасывается в начальное положение и цикл отклонения повторяется. При этом электронная пушка движется поступательно

вдоль образца, а электронный пучок сканирует поверхность в поперечном направлении с частотой 3–24 Гц (рис. 1 а).

Второй применяемый тип развёртки «импульсная» подразумевает движение электронного луча с определенным шагом между точками для увеличения скорости охлаждения. Для минимизации термического влияния соседней точки заполнение поверхности осуществляли с пропусками и последующим возвратом к соседней точке, (рис. 1 б). Для осуществления такого способа электронную пушку перемещали в непрерывном режиме с постоянной скоростью, а электронный пучок отклоняли в импульсном режиме. Ширина зоны обработки во всех случаях составила 22 мм.

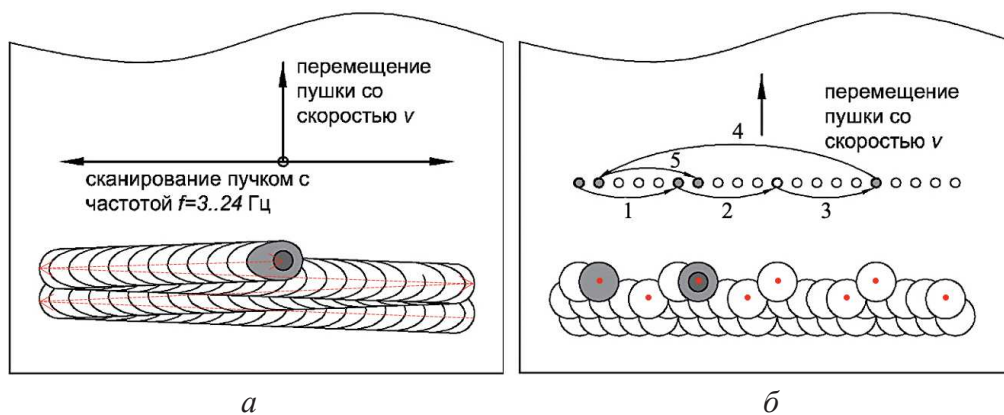


Рис. 1 – Схемы обработки при развертках типа «прямая» (а) и импульсной (б): ■ – источник теплоты; ■ – жидкая ванна; □ – закристаллизовавшийся металл

Обработка 5 образцов из алюмоматричного композиционного материала АМг3 + 5 мас. % SiC проводилась по режимам, представленным в таблице 1. Частоту развертки подбирали таким образом, чтобы обеспечивать перекрытие валиков при заданной скорости обработки.

Металлографические исследования проводили на образцах, вырезанных поперек направлению обработки. Образцы запрессовывали в термопластический фенольный компаунд, затем поверхность механически шлифовали, полировали и травили для выявления микроструктуры.

Исследование микроструктуры проводили на оптическом микроскопе Zeiss Observer ZIm при увеличениях до 1000х. Измерения проводились на твердомере Wolpert Wilson Instruments Vickers Hardness Tester 432SVD по методу Виккерса с нагрузкой 0,3 кгс и выдержкой под нагрузкой 15 секунд. На каждом участке проводилось по 3 измерения, затем данные усреднялись и заносились в таблицу.

**Таблица 1 – Режимы электронно-лучевой модификации поверхности
AMg3 + 5 мас. % SiC**

№ режима	Скорость пушки v, мм/мин	Ток пучка I, mA	Частота развертки f, Гц	Тип развертки	Погонная энергия q, Дж/мм
1	120	6	4	Прямая	180
2	240	10	8	Прямая	90
3	150	10	3	Импульсная	250
4	600	25	12	Импульсная	150
5	600	25	12	Импульсная (2 прохода)	150 (2 раза)
6	1200	40	24	Импульсная	120

Результаты. После обработки по заданным режимам оценивали качество формирования поверхности и глубину оплавленного слоя.

Образцы из алюмоматричного композиционного материала (AMg3 + 5% SiC) были обработаны по режимам №1–2 (рис. 3, 4). После обработки у всех образцов наблюдается стабильное формирование поверхности.

Для оценки свойств обработанного слоя были определены изменение глубины проплавления и твердости в начале и в конце образцов (таблица 2). Из таблицы видно, что на всех образцах глубина проплавления увеличивается по мере обработки, что вполне закономерно связано с постепенным нагревом.

Таблица 2 – Результаты измерения глубины и микротвердости композитного материала после поверхностной обработки электронным пучком

№	Глубина обр. слоя, мкм		Микротвердость, HV		Тип микроструктуры		Длительность импульса мс
	начало	конец	начало	конец	начало	конец	
1	210	422	39,1	46,6	1	1+2	5
2	275	476	35,4	42,3	1	1+2	2,5
3	184	1705	38,7	51,0	1	3	3,74
4	74	178	40,6	38,7	1	1	0,94
5	223	611	35,5	41,5	2	2	0,94
6	127	274	57,5	57,7	1	1	0,47

После обработки композитных материалов была исследована микроструктура образцов. Во всех образцах основной металл представляет собой светлые зерна твердого раствора на основе алюминия с выделившейся по границам вторично избыточной фазой (рис. 2а). В некоторых местах между зернами встречается грубая эвтектика двух фаз в виде чередующихся полос твердого раствора на основе алюминия и кремниевой фазы. Средний размер зерен составляет порядка 50 мкм.

В оплавленных слоях получили микроструктуры 3 типов. Первый тип микроструктуры представляет собой твердый раствор алюминия с дисперсными включениями по всему объему зерен (рис. 2б). Такая структура образцов характерна для режимов №1, 2, 4, 6.

Второй тип по микроструктуры модифицированного слоя наблюдается в образце по режимам №5 на конечном участке обработки (рис. 2в). Микроструктура представлена мелкими зернами твердого раствора, с включениями вторично-избыточной фазы преимущественно по границам зерен. Характерный размер зерен твердого раствора составляет порядка 10 мкм.

К третьему типу относится образец по режиму №3 на конечном участке обработки (рис. 2г). Микроструктура модифицированного металла представлена крупными зернами и выделением фазы на основе кремния по границам зерен.

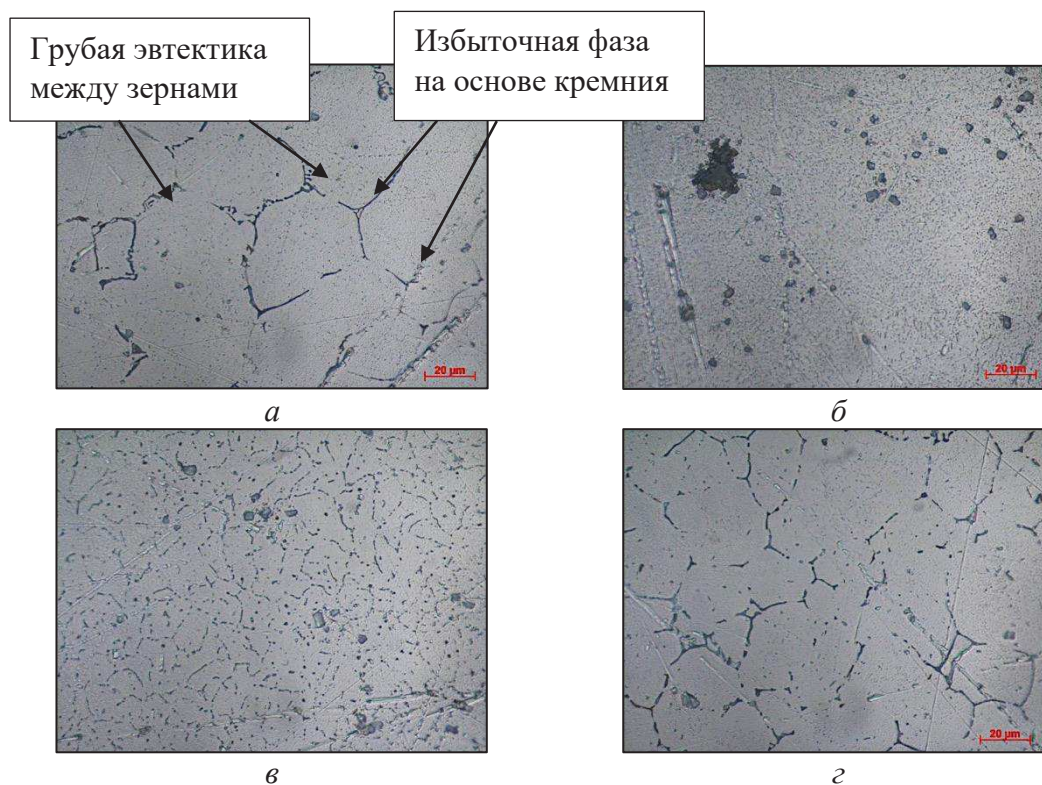


Рис. 2 – Структура основного (а) модифицированного металла (б, в, г) (AMg1 + 5%SiC), 1000x

Обсуждение. На микроструктуру и свойства поверхности образцов оказывают влияние параметры режима обработки и тип развёртки. При увеличении тепловложения происходит укрупнение зерна, по границам зерен формируются вторичные фазы, а следовательно, уменьшается микротвердость поверхности. Наибольшее увеличение твердости произошло на режиме с большой

скоростью обработки и применением импульсной развертки, которая позволяет увеличить скорость охлаждения. При увеличении скорости охлаждения происходит измельчение зерна, карбиды кремния дисперсно распределяются по всему объему зерен (рис. 2 б).

Снижение твердости на некоторых образцах произошло вследствие уменьшения содержания магния в поверхностном слое, вследствие высокой упругости пара магния. Интенсивность пика магния на образце, обработанном на режиме №6 в два раза выше, чем на образцах, обработанном по режимам №1, 2, 3, как следствие, произошло снижение микротвердости поверхности.

Исходя из полученных результатов измерений, самое большое увеличение микротвердости поверхности произошло при обработке на режиме 6 (таблица 1). При обработке была использована большая скорость перемещения пушки и импульсная развертка, что обеспечило большую скорость охлаждения. Образец обладает мелкозернистой дисперсной структурой.

Заключение. Электронно-лучевая модификация композиционных материалов позволяет увеличить твердость поверхности на определенных режимах. Термический цикл определяет микроструктуру получившегося слоя. При увеличении тепло вложения происходит испарение магния, и как следствие, снижается микротвердость поверхности. Поэтому, целесообразнее применение импульсной развертки.

Тип развертки оказывает влияние не только на скорость охлаждения обработанного слоя, но и на формирование поверхности. Применение развертки типа «импульсная» позволяет получить стабильное формирование по всей поверхности с незначительным рельефом. При этом уменьшается длительность импульса и увеличивается скорость охлаждения.

Среди рассмотренных режимов обработки композиционных материалов импульсный метод с параметрами: скорость обработки $v_{обр} = 1200$ мм/мин, ток луча $I_{л} = 40$ мА, обеспечивает наименьшую интенсивность испарения магния, измельчение зерна, а также наибольшее увеличение твердости поверхности

Список использованных источников

1. Михеев Р.С. Алюмоматричные композиционные материалы карбидным упрочнением для решения задач новой техники / Р.С. Михеев, Т.А. Чернышова // 2013, 356 с.

2. Михеев Р.С. Перспективные покрытия с повышенными триботехническими свойствами из композиционных материалов на основе цветных металлов: дис. д-ра техн. наук: 05.16.06. Москва: РГБ, 2018. - 442 с.

3. Михеев, Р.С. Разработка износостойких дисперсно-наполненных композиционных материалов и покрытий из них: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.06: защищена 31.03.2010: утв. 09.07.2010 / Михеев Роман Сергеевич. - М., 2010. - 194 с.

4. Григорьянц, А.Г. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 3. Методы поверхностной лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов, под ред. А.Г. Григорьянца. - М.: Высш. шк., 1987. - 191 с.

5. Слива, А.П. Основы технологии электронно-тучевой сварки: учеб. пособие / А.П. Слива, Р.В. Родякина, Е.В. Терентьев. - М.: Издательство МЭИ, 2019. - 84 с

УДК 620.178.152

А.Н. Демидов, А.Е. Жукарев
НИУ «МЭИ»
Москва Россия

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРА «АЭРОТЕКС» ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ ЭЛЕМЕНТОВ БПЛА

Аннотация. Статья посвящена определению физико-механических свойств, композита «Aerotex» (SAN+CF), методами растяжения и инструментального индентирования, выявлена оптимальная температура 3D-печати по FDM-технологии, проведено сравнение с данными производителя. Установлена возможность безобразцового определения физико-механических свойств.

Ключевые слова: полимеры, композиты, углеволокно, инструментальное индентирование, испытание на растяжение.

A.N. Demidov, A.E. Zhukarev
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
Moscow, Russia

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE «AEROTEX» POLYMER FOR 3D-PRINTING OF THE UAV ELEMENTS