

Т.Л. АЛТУХОВА, канд. техн. наук, В.Г. КОТУХ, канд. техн. наук

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ НА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

В соответствии с предложенной технологической концепцией лазерной герметизации радиоэлектронных модулей (РЭМ) в корпусах из алюминиевых сплавов [1] для получения герметичных сварных соединений из разнородных материалов необходимо предварительно получить методом лазерной наплавки многофункциональные покрытия (МФП) из Ni или Si на свариваемых кромках алюминиевых корпусных деталей.

Образцы, имитирующие свариваемые кромки узлов герметизации РЭМ, были изготовлены из сплавов АМгб, АМц и АД1. Для наплавления МФП использованы порошки Ni и Si зернистостью 5 ... 15 мкм. Суспензия на основе порошков и ацетона наносилась кисточкой на очищенные кромки и высушивалась.

Наплавка выполнялась на лазерной технологической установке импульсного действия "Квант-15" в несколько проходов с коэффициентом перекрытия каждого светового пятна и дорожек $k = 0,5 \dots 0,6$. Энергия в импульсе составляла 4 ... 6 Дж, длительность импульса 4 мс, диаметр светового пятна $d = 0,6 \dots 0,8$ мм, фокусное расстояние $F = 100$ мм, частота следования импульсов $f = 10$ Гц. Скорость наплавки V , мм²/мин, определялась по формуле

$$V = 60d^2f(1 - k). \quad (1)$$

Она колебалась в диапазоне 144 ... 240 мм²/мин.

Эксперименты проводили по многофакторному плану.

Определяющим фактором процесса лазерной импульсной наплавки является плотность лазерного излучения в зоне его воздействия на обрабатываемый материал [2]. Для принятых в экспериментах режимов наплавки Si и Ni плотность лазерного излучения в фокальной плоскости $\mathcal{E}_\phi = 800 \dots 2070$ Дж/см², а плотность мощности $P = 0,2 \dots 0,5$ Вт/см².

Многофункциональное покрытие на основе Si, полученное лазерной наплавкой, визуально представляет собой чешуйчатого вида поверхность темно-серого цвета, образованную последовательно расплавленными зонами кремния и параллельными перекрывающимися

друг друга дорожками с коэффициентом перекрытия $k = 0,5$. На поверхности при семикратном увеличении не обнаружены поры, микротрещины, непровары и другие поверхностные дефекты.

Внешний вид наплавленных слоев исследован под микроскопом. Замеры толщины МФП выполнены микрометром МК (ГОСТ 6507 — 78) с погрешностью ± 4 мкм.

При проведении экспериментов по наплавке Si на подложку из Al-сплава (наплавка первого слоя) и получении последующих слоев (Si на Si) обнаружено, что диаметр наплавленной точки Si существенно превышает диаметр светового пятна. Для первого слоя (Si на Al) при диаметре светового пятна 0,6 мм диаметр наплавленной точки составлял 0,8 ... 0,9 мм, а для последующих слоев (Si на Si) — 0,9 ... 1,0 мм. Указанные значения получены для удельной энергии излучения 0 1200 Дж/см (6 Дж, $d = 0,8$ мм) до 1380 Дж/см (4 Дж, $d = 0,6$ мм). Это объясняется, по-видимому, тем, что в первом случае, когда основа более теплопроводна, растекание Si тормозится быстрой теплоотдачей в Al-подложку. Во втором случае подложка (Si) и наплавляемый материал (Si) имеют одинаковые теплоемкости, а влияние основного материала (Al) ослабевает, поскольку наплавленный Si препятствует отдаче теплоты из наплавленной точки. В связи с этим при расчетах необходимо использовать экспериментально полученные эмпирические зависимости для определения размеров наплавленных точек: для первого слоя

$$d_{\text{Si-1}} = (1,3 \dots 1,4) d; \quad (2)$$

для последующих слоев

$$d_{\text{Si-n}} = (1,5 \dots 1,6) d. \quad (3)$$

Так как в формулу (1) входит d^2 , то фактическое увеличение диаметра наплавленной точки существенно повышает скорость образования МФП. На рис.1 отражены расчетная (кривая 1) и фактические зависимости скорости V наплавки Si от диаметра d светового пятна.

В рекомендуемом диапазоне диаметров световых точек (0,6 ... 0,8 мм) фактическая скорость наплавки первого слоя (кривая 2, Si на Al) составляет 205 ... 364 мм²/мин, т.е. превышает расчетную в 2,0 ... 2,5 раза. Это позволяет сократить в 2,0 ... 2,5 раза длительность наплавки. Например, при $d = 0,7$ расчетная скорость наплавки второго слоя (Si на Si) равна 104 мм²/мин, а фактическая (кривая 3) 288 мм²/мин.

Многofункциональное покрытие на основе Ni, полученное лазерной наплавкой, визуально представляет собой чешуйчатого вида

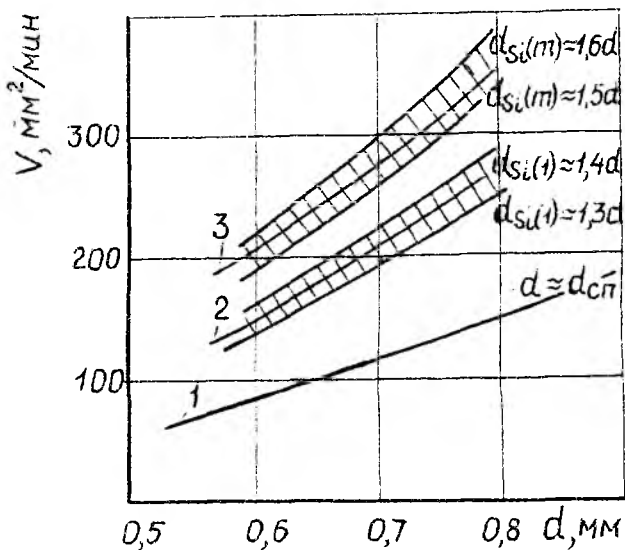


Рис. 1

поверхность стального цвета, образованную последовательно расплавленными зонами Ni и параллельными, перекрывающимися друг друга дорожками с коэффициентом перекрытия $k = 0,5$. На поверхности при семикратном увеличении не обнаружены поры, микротрещины, непровары и другие поверхностные дефекты.

Как свидетельствуют результаты экспериментов, за один проход можно наплавить слой Ni в среднем толщиной 45 ... 50 мкм при соблюдении указанных выше режимов наплавки.

Измерения экспериментальных образцов с МФП показали: толщина покрытия составляет 37,8 ... 52,8 мкм, что достигалось последовательной наплавкой трех-четырех слоев Ni. Замеры толщины проводились описанным выше способом.

В практических расчетах для принятых технологических режимов наплавки следует принимать толщину первого слоя (Ni на Al) в пределах 35 ... 39 мкм, а второго и последующих слоев (Ni на Ni) — 51 ... 55 мкм.

При проведении экспериментов по наплавке Ni на подложку из Al-сплава (наплавка первого слоя) и получении последующих слоев (Ni на Ni) обнаружено, что диаметр наплавленной точки Ni превышает диаметр светового пятна. Для первого слоя (Ni на Al) при диаметре светового пятна 0,6 мм диаметр наплавленной точки составлял 0,7... 0,8 мм, а для последующих слоев (Ni на Ni) — 0,8 ... 0,9 мм. Указан-

ные значения получены для удельной энергии излучения 1200 ... 1380 Дж/см². Это объясняется тем, что в первом случае, когда Al-основа более теплопроводна, растекание Ni тормозится быстрой теплоотдачей в Al-подложку. Во втором случае подложка (слой Ni) и наплавляемый материал (Ni) имеют одинаковые теплоемкости, а влияние основного материала (Al) ослабевает, поскольку расплавленный ранее слой Ni препятствует отдаче теплоты из расплавленной точки.

Чтобы оценить возможность повышения растекаемости наплавляемого Ni на кромке из Al-сплавов (AMg6, AMц) путем увеличения плотности мощности в зоне наплавки, одним из авторов были проведены в Институте электросварки им. Е.О. Патона, дополнительные эксперименты по наплавке Ni. Процесс выполняли на СО₂-лазере ОБ1617 при мощности энергии излучения 0,5 ... 0,7 кВт и скорости 18 м/ч. В экспериментах не удалось добиться наплавки на Al-основу Ni в виде сплошного слоя. Под воздействием непрерывного лазерного излучения Ni, нанесенный на поверхность кромки в виде порошка или пасты, расплавлялся и, не смачивая поверхности Al-сплава, собирался в отдельные шарики диаметром примерно 1 мм, которые легко удалялись с поверхности. По мнению автора и специалистов ИЭС им. Е.О. Патона, описанное явление можно объяснить плохой смачиваемостью поверхности кромки из Al-сплава расплавленным Ni из-за большого различия теплопроводностей этих материалов: Ni — 58 Вт/(м·°C), Al — 204 Вт/(м·°C).

В связи с изложенным при расчетах необходимо использовать экспериментально выявленные зависимости для определения размеров наплавленных точек: для первого слоя

$$d_{Ni-1} = (1,2...1,3) d; \quad (4)$$

для последующих слоев

$$d_{Ni-n} = (1,4...1,5) d. \quad (5)$$

На рис. 2 даны расчетная (кривая 1) и фактические зависимости скорости V наплавки Ni от диаметра d светового пятна. В рекомендуемом диапазоне диаметров световых точек (0,6 ... 0,8 мм) фактическая скорость наплавки первого слоя (кривая 2) составляет 146 ... 258 мм²/мин, т.е. превышает расчетную в 1,72 раза. Для последующих слоев (кривая 3) различие скоростей проявляется еще заметнее.

На рис. 3, 4 показаны графики для определения длительности τ наплавки МФП из Si и Ni соответственно. Значение τ устанавливается исходя из периметра наплавляемой поверхности l при заданном

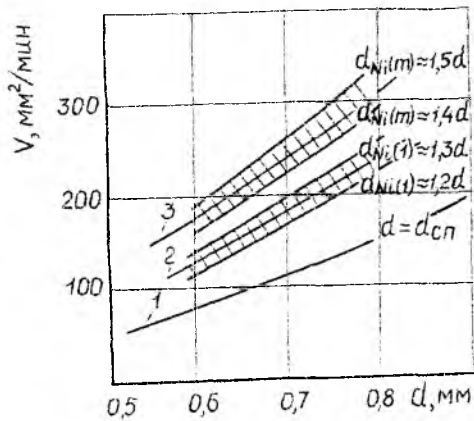


Рис. 2

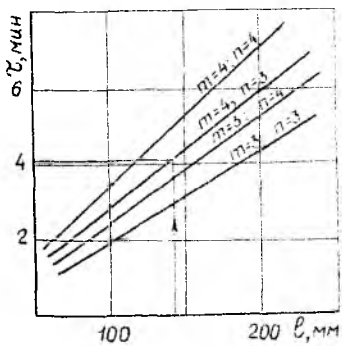


Рис. 3

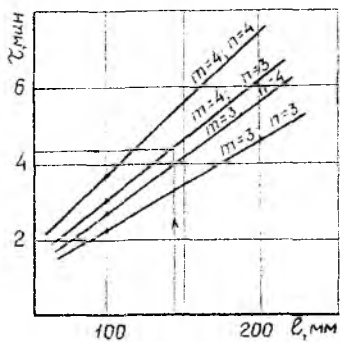


Рис. 4

количестве наплавляемых слоев m и количестве проходов n . Рекомендуемые режимы указаны для $d = 0,8$ мм и $f = 10$ Гц.

Экспериментальные исследования процесса получения МФП на основе Si и Ni на свариваемых кромках корпусных деталей РЭМ из сплавов АМг6 и АМц позволяют сделать следующие выводы.

1. Лазерная наплавка Si и Ni (на Al-сплавы АМг6 и АМц) на рекомендуемых технологических режимах (энергия в импульсе 4 ... 6 Дж, длительность импульса 4мс, $d = 0,6 \dots 0,8$ мм, $F = 100$ мм, $f = 10$ Гц, $k = 0,5$) обеспечивает получение сплошного качественного МФП заданной толщины (150 мкм) без пор, трещин и других дефектов.

2. Фактические размеры наплавленных точек существенно (на 20 ... 60 %) превосходят размеры светового пятна в зоне воздействия лазерного излучения. Это значительно повышает скорость образования МФП и производительность процесса.

3. Для технологических расчетов, в том числе для определения длительности наплавки, целесообразно использовать соотношения (2) — (5).

Список литературы: 1. Технологическая концепция лазерной герметизации радиоэлектронных модулей в корпусах из алюминиевых сплавов / Н.В. Замирец, В.Г. Котух, В.А. Шур, Т.Л. Алтухова // Технология приборостроения. 1996. № 1. С. 54 — 57. 2. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справ. / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.

Поступила в редколлегию 06.06.97