

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ С НЕРАВНОВЕСНОЙ СТРУКТУРОЙ

Оковитый В.А., Девойно О.Г., Оковитый В.В., Асташинский В.А.

(БНТУ, г. Минск, Беларусь)

Тел./Факс: (017)293-92-23; E-mail: scvmed@bntu.by

Abstract: Studied and optimized technological parameters of hardening high-energy processing sprayed coatings of materials based on oxide ceramics with inclusions of solid lubricant. Structure formation processes were investigated with reflow, compaction and high-speed cooling of coatings. The criterion for optimization modes is a maximum degree of local melting and compacting the deposited compositions in the absence of signs destruction coatings by laser radiation effects.

Key words: Ceramic coating, plasma spraying, utilization rate of the material, optimization of the parameters.

Обработка импульсным лазером. В качестве технологического оборудования применяют твердотельный квазистационарный лазерный излучатель. Он позволяет обрабатывать покрытия импульсами лазерного луча длительностью до 4 мс, полученными в режиме свободной генерации. Для оптимизации жестких режимов лазерной обработки необходимо исследовать влияние плотности мощности импульса лазерного излучения на степень оплавления напыленных композиций. При варьировании плотности мощности учитывали, что форма импульсов излучения твердотельных лазеров в режиме свободной генерации определяется формой импульсов тока накачки. Наряду с плотностью мощности оптимизировали суммарное количество импульсов лазерного излучения в пятне обработки. Указанный технологический параметр влияет на толщину обработанных слоев покрытия [1-3].

В таблице 1 представлены результаты оптимизации плотности мощности. Наряду с плотностью мощности импульсного излучения для формирования полностью оплавленных по всей толщине покрытий (0,5 – 0,6 мм) оптимизировали суммарное количество импульсов лазерного луча в пятне обработки. По результатам металлографического анализа нетравленных шлифов установлено, что необходимое и достаточное количество импульсов для покрытий из порошка Al_2O_3 -25% TiO_2 -25% Cr_2O_3 -12,5% MoS_2 составляет 6 - 7 воздействий, а для покрытий из порошков Al_2O_3 - TiO_2 -12%(MoS_2 -Ni) и Al_2O_3 - TiO_2 -12%(CaF_2 -Ni) -5-8. Дополнительные импульсы неэффективны, так как их многократное повторение ухудшает геометрию поверхности покрытия из-за теплового разрушения. Суммарное количество импульсов лазерного излучения значительно меньше в сравнении с импульсами плазменной струи (12 - 15) при воздействиях на те же покрытия. Это объясняется длительностью воздействий, которая соответственно составляет 4мс и 400 мкс. Микроструктура покрыти, полученных на оптимизированных режимах обработки, показана на рисунках 1. Как и в случае технологии импульсно-плазменных воздействий слои покрытий представляют собой оплавленный металлокерамический материал. При оплавлении активизируется химическое взаимодействие на границах основных фаз нанесенных композиций. Продуктами химического взаимодействия могут быть тонкодисперсные (в том числе наноразмерные) образования, которые упрочняют границы основных фаз и покрытие в целом [4-5].

Таблица 1. Результаты исследований по оптимизации плотности мощности

| Покрытие | Плотность мощности импульса лазерного луча, $\times 10^5$ Вт/см ² | Показатель пористости на шлифах обработанного покрытия, % |
|---|--|---|
| Al ₂ O ₃ -25%TiO ₂ -25%Cr ₂ O ₃ -12,5%MoS ₂ | 4,0 | 3,5 – 4,6 |
| | 4,5 | 3,2 – 3,9 |
| | 5,5 | 3,1 – 3,5 |
| | 6,0 | 2,5 – 3,1 |
| | 7,0 | 2,7 – 3,2 |
| Al ₂ O ₃ -30%Cr ₂ O ₃ -12,5%MoS ₂ | 5,0 | 4,2 – 5,0 |
| | 6,0 | 3,7 – 3,9 |
| | 6,5 | 3,4 – 3,6 |
| | 7,0 | 3,1 – 3,3 |
| | 8,0 | 3,2 – 3,4 |

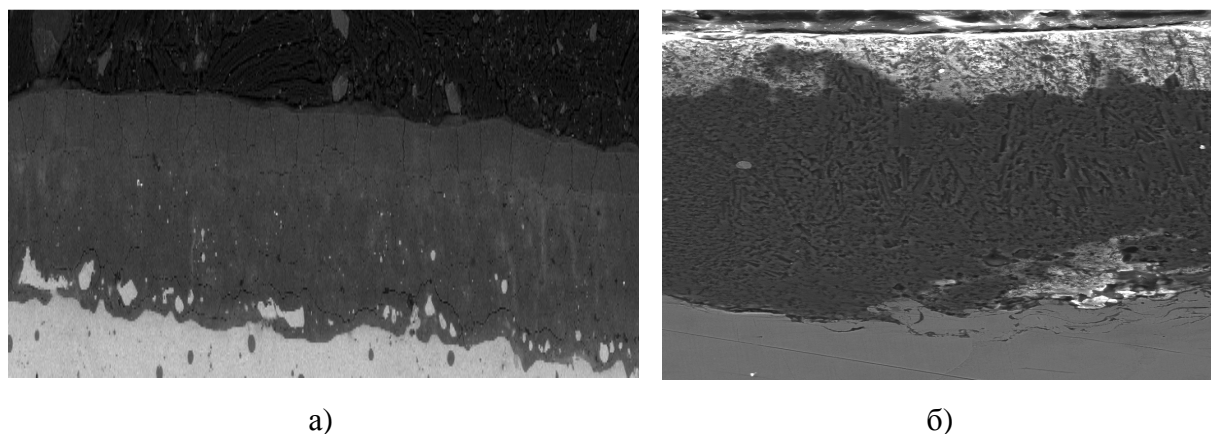


Рис. 1. Микроструктура покрытия: а - Al₂O₃-30% Cr₂O₃-12,5%MoS₂; б - Al₂O₃-25%TiO₂-25%Cr₂O₃-12,5%MoS₂ (x500) после обработки импульсами лазерного излучения

Обработка импульсной плазмой. Импульсно – плазменную обработку напыленных покрытий проводили с помощью газоразрядного квазистационарного ускорителя типа магнитоплазменный компрессор (МПК). Преимуществом МПК по сравнению с другими типами ускорителей является высокая устойчивость генерируемого им компрессионного потока, возможность управления его составом, размерами и параметрами плазмы при длительности разряда, достаточной для практических применений [4] Методика оптимизации базировалась на необходимости получения упрочненных аморфных или близких к ним нанокристаллических структур покрытий, являющихся объектом исследований [3]. При тепловом воздействии импульса плазменной струи происходит оплавление слоя покрытия толщиной порядка 30 мкм и его сверхбыстрое охлаждение с теплоотводом в подложку. Чем выше степень кратковременного оплавления композиции, содержащей различные фазы (в том числе тугоплавкие), тем больше центров последующей кристаллизации (аморфизации) материала, из которых при сверхбыстром охлаждении развиваются упрочненные

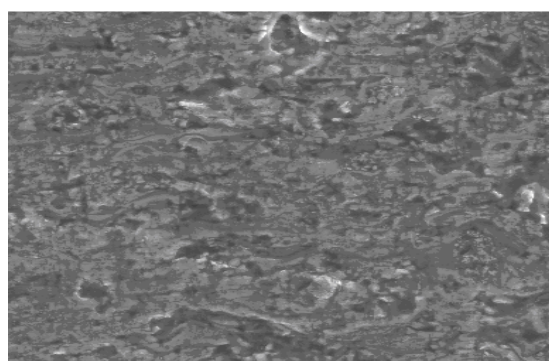
структуры. С учетом вышеизложенного критерием оптимизации импульсно – плазменной обработки покрытий, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}30\% \text{Cr}_2\text{O}_3\text{-}12,5\% \text{MoS}_2$ и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}25\% \text{TiO}_2\text{-}25\% \text{Cr}_2\text{O}_3\text{-}12,5\% \text{MoS}_2$ выбрана максимальная степень их оплавления и уплотнения, что достигается увеличением энергетического уровня теплового и ударно – волнового воздействия импульса при уменьшении дистанции воздействия до минимального значения. Вместе с тем уменьшение дистанции ограничивается появлением признаков разрушения покрытий (например, развиваются трещины).

Согласно методического подхода при варьировании технологических параметров импульсно – плазменной обработки изменяли дистанцию воздействий импульсами и их суммарное количество. Последний технологический параметр оказывает влияние на толщину обработанных слоев покрытия. Для износостойких покрытий, являющихся объектом исследований, необходимы повышенные когезионная и адгезионная прочности. Поэтому суммарное количество импульсов должно обеспечить оплавление и уплотнение покрытий по всей толщине, что будет в полном объеме способствовать получению упрочненных структур. В таблице 2 представлены результаты оптимизации дистанции обработки. Согласно данным таблицы 2, оптимальные дистанции импульсно-плазменной обработки покрытий для $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}25\% \text{TiO}_2\text{-}25\% \text{Cr}_2\text{O}_3\text{-}12,5\% \text{MoS}_2$ - 0,06м; для $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}30\% \text{Cr}_2\text{O}_3\text{-}12,5\% \text{MoS}$ - 0,07м. Об этом свидетельствует стабилизация пористости, желаемого уменьшения которой по критерию оптимизации при дистанциях ниже 0,06 и 0,07м практически не происходит, что, объясняется кратковременностью тепловых и динамических импульсных воздействий (~ 200 мкс), а также значительным содержанием в покрытиях тугоплавкой фазы, препятствующей возрастанию степени оплавления и уплотнения покрытий. Кроме того, при дистанциях $\leq 0,04$ м для $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}25\% \text{TiO}_2\text{-}25\% \text{Cr}_2\text{O}_3\text{-}12,5\% \text{MoS}_2$ и 0,05 м для $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}30\% \text{Cr}_2\text{O}_3\text{-}12,5\% \text{Mo}$ наблюдается разрушение покрытий с развитием макротрещин. Наряду с дистанцией обработки для формирования полностью оплавленных по всей толщине покрытий оптимизировали суммарное количество импульсов плазмы. Установлено, что необходимое и достаточное количество импульсов для полной обработки покрытий для $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}25\% \text{TiO}_2\text{-}25\% \text{Cr}_2\text{O}_3\text{-}12,5\% \text{MoS}$, полученных методом СВС составляет 14 – 15 воздействий, для, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}30\% \text{Cr}_2\text{O}_3\text{-}12,5\% \text{MoS}$ полученными методом агломерирования мелкодисперсной шихты с последующим высокотемпературным спеканием 12 - 13 воздействий. Дополнительные импульсы нецелесообразны, так как их многократное повторение ухудшает геометрию поверхности покрытия. Микроструктура покрытий, полученных на оптимизированных режимах обработки, показана на рисунке 2.

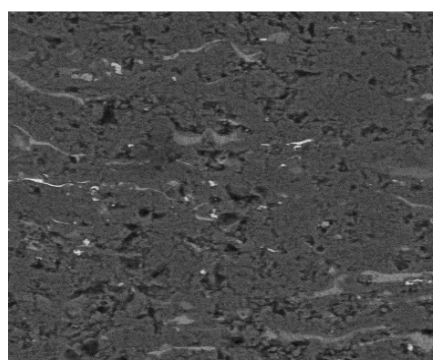
Как видно, слои покрытий представляют собой оплавленный металл - керамический материал. Имеет место достаточно равномерное распределение структурных элементов. Это способствует увеличению износостойкости нанесенных композиций. На фотографиях структур заметны следы частиц твердых смазок, образующих покрытия. Указанные элементы структуры наблюдается в виде характерных непротравленных (светлых) оболочек. Сохранение структуры распыляемых композиционных частиц в плазменной струе, соударения их с подложкой и после воздействий импульсами плазмы свидетельствует о том, что состав исходных порошков не претерпевает существенных изменений при формировании покрытий.

Таблица 2. Результаты исследований по оптимизации дистанции обработки

| Покрытие | Дистанция импульсно-плазменной обработки, м | Показатель пористости, % |
|---|---|--------------------------|
| Al ₂ O ₃ -25%TiO ₂ -25%Cr ₂ O ₃ -12,5%MoS ₂ (CBC) | 0,09 | 3,7 – 4,9 |
| | 0,08 | 2,8 – 4,5 |
| | 0,07 | 2,6 – 3,9 |
| | 0,06 | 2,6-3,4 |
| | 0,05 | 2,5-3,3 |
| | 0,04 | Разрушение покрытия |
| Al ₂ O ₃ -30%Cr ₂ O ₃ -12,5%MoS ₂ (агломер.) | 0,09 | 4,5 – 5,9 |
| | 0,08 | 3,8 – 5,1 |
| | 0,07 | 3,4 – 4,8 |
| | 0,06 | 3,1-4,7 |
| | 0,05 | Разрушение покрытия |



а)



б)

Рис. 2. Микроструктура покрытия: а- Al₂O₃-30% Cr₂O₃-12,5%MoS₂; б- Al₂O₃-25% TiO₂-25%Cr₂O₃-12,5%MoS₂ (x500) после импульсно – плазменной обработки

Список литературы: 1. Пантелеенко, Ф.И. Разработка композиционного материала на основе многофункциональной керамики для плазменного напыления / Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.А., Девойно О.Г., Асташинский В.М., Оковитый В.В. // “Упрочняющие технологии и покрытия”, Машиностроение, Москва, 2015.-Вып.2.- С.43-47. 2. Оковитый, В.А. Оптимизация процесса напыления износостойких покрытий на основе многофункциональной оксидной керамики / Оковитый В.А., Пантелеенко А.Ф. // “Обработка металлов”, Новосибирск, 2015.-№2(67).- С.46-54. 3. Оковитый, В.А. Технология получения композиционного материала на основе многофункциональной оксидной керамики/ Оковитый В.А., Пантелеенко Ф.И., Талако Т.Л., Пантелеенко А.Ф. // “Обработка металлов”, Новосибирск, 2015.-№2(67).- С.39-45. 4. Пантелеенко, Ф.И. Исследование процессов и оптимизация технологических параметров импульсно-плазменной обработки плазменных покрытий из материалов на основе многофункциональной оксидной керамики // Пантелеенко Ф.И., Оковитый В.А., Девойно О.Г., Асташинский В.М., Оковитый В.В. // Труды международной научно-технической конференции «Инновации в машиностроении» Кемерово, 2015.с.360-364. 5. Состав для газотермического напыления износостойких покрытий: пат. 19111 Респ. Беларусь, МПК В22F 1/00; С23С4 /04/ Оковитый В.А., Девойно О.Г., Пантелеенко А.Ф., Оковитый В.В. - заявитель - БНТУ-№ а 20120954; заявл. 22.06.2012, опубл.30.04.2015 // Афіцыйны бюл. Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. - № 2.