

1	0,005	4	0,6
2	0,045	15	0,6
3	0,045	4	5
4	0,005	15	5

Анализ закономерностей формирования шлифованной поверхности образцов из псевдосплавов показал, что их состав незначительно влияет на шероховатость обработанной поверхности, для всех исследованных материалов параметр Ra находился в пределах 0,2-0,3 мкм. Правильный выбор режима шлифования может снизить шероховатость на 25 %. Установлено, что для изделий из псевдосплавов, независимо от режима шлифования, два прохода выхаживания микрорельеф почти не изменяют, а после четырех проходов имеет место значительное снижение высоты микронеровностей. Непосредственно после шлифования на поверхности наблюдаются волнистость, глубокие риски, следы бокового течения металла под действием единичных абразивных зерен и другие дефекты, которые после выхаживания значительно уменьшаются.

Установлено, что температура на поверхности трения образцов из псевдосплавов на 5–10 % ниже, чем из компактной бронзы БрО5Ц5С5 благодаря их большей износостойкости и высокой теплопроводности. Исследование относительного объемного изнашивания образцов в зависимости от состава материала и условий обработки показало, что выхаживание снижает износ у всех исследованных материалов в разной степени. В псевдосплавах, полученных инфильтрацией каркаса из стали ПК80, независимо от исходной плотности каркаса, выхаживание уменьшает износ практически в 2 раза, из стали ПК80 с добавкой 0,5 % дисульфида молибдена – на 10 %, псевдосплава, полученного жидкофазным спеканием – в 1,5 раза. Минимальный износ, как с выхаживанием, так и без него, наблюдается у псевдосплава, полученного инфильтрацией каркаса из стали ПК80 с добавкой дисульфида молибдена.

1. Мамаев, Н.М. Антифрикционные материалы и композиции. Механизм трения // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – №10. – С. 68-74.

УДК 621.793.18

АНАЛИЗ КИНЕТИЧЕСКИХ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ

Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Важным этапом, который определяет технологические возможности вакуумного электродугового метода нанесения покрытий, является генерация плазменного потока. В силу этого факта, большинство разработчиков и исследователей значительное внимание уделяют правильному выбору электродугового испарителя [1]. В качестве критериев выбора рассматриваются параметры, которые характеризуют не только технологическую эффективность испарительного устройства, но и эффективность физических процессов, протекающих на поверхности эродирующего электрода (средний заряд ионов, плотность ионного тока, начальная энергия ионов, степень ионизации потока). Данный подход является оправданным, так как энергия ионов конденсирующегося потока в значительной степени определяет свойства формируемых покрытий. Однако беглый анализ структурно-функциональной схемы и параметров технологических этапов процесса вакуумного электродугового нанесения функциональных покрытий показывает, что технологическая среда должна играть значительную роль в процессе формирования покрытий заданного состава и свойств. Это связано как с процессами на этапе массопереноса заряженных частиц от поверхности катода до поверхности конденсации, так и с явлением физической сорбции на поверхности упрочняемой заготовки.

Взаимодействие ионов потока и частиц технологического газа с образованием продуктов реакции связано с преодолением потенциального барьера, который определяется законом Аррениуса и зависит от величины энергии активации химической реакции. Для представления полной картины о протекающих в заданном объеме или на выбранном участке поверхности химических реакций необходимо построение кинетических кривых образования продуктов реакции или расходования продуктов реакции. Однако построение такой кривой для случая анализа процессов плазмохимического синтеза высоко ионизированных плазменных потоков на поверхности изделия крайне затруднительно. Выходом из данной ситуации является анализ свойств формируемых покрытий, которые зависят от степени протекания химических реакций на поверхности конденсации плазменного потока.

Экспериментально установлено, что в процессах столкновения ионов с частицами технологического газа в объеме вакуумной камеры не образуется химических соединений. Все образование соединений происходит на поверхности конденсации плазменного потока. Результаты рентгенофазового анализа вакуумно-плазменных покрытий различного состава показывают, что введение реакционно способного технологического газа в разрядный промежуток вызывает наблюдаемое уширение дифракционных максимумов на рентгенограммах покрытий при низких значениях ускоряющего потенциала подаваемого на подложку. Дифракционные максимумы становятся слабовыраженными, наблюдается их смещение от табличных значений и наложение друг на друга. Всё это существенно затрудняет рентгенофазовый анализ покрытий. Независимо от типа исследуемого реакционного газа (азот или кислород) существует критическая величина давления равная, приблизительно, 1×10^{-2} Па, ниже которого образование соединений элементов материала катода с молекулами реакционного газа не наблюдается.

Рост давления реакционного газа ведет к образованию соединений с участием его атомов, что связано с «лавинообразным» ростом выхода ионов, например, N_2^+ . При этом происходит увеличение различия в соотношении компонентов в катоде и в покрытии. Например, для катодов из сплавов титан-кремний наблюдается уменьшение относительного количества кремния в покрытии. Предположительно это связано с ростом количества поглощенного растущим покрытием азота за счет роста ионизированных частиц – ионов N_2^+ . Однако рост давления может приводить, также, к увеличению рассеяния ионов кремния на молекулах газа. Измерение микро твердости силицидных покрытий осаждаемых в среде реакционного газа показало, что она ведёт себя немонотонно, в отличие от микро твёрдости покрытий, получаемых осаждением однокомпонентных плазменных потоков в среде реакционного газа, у которых наблюдается «насыщение», достигаемое при определенном значении ускоряющего потенциала. При этом в начальной области, где изменения максимальны, фазовый состав покрытий приблизительно постоянен. Это говорит о том, что за счет одновременного протекания на поверхности конденсации нескольких химических реакций, количество растворенного и участвующего в образовании химических соединений газа может меняться в зависимости от условий осаждения.

Формирование вакуумно-плазменных покрытий относится к открытой системе протекания плазмохимических реакций. Изменение концентрации реагентов происходит не только за счет их реагирования друг с другом, но и в результате массопереноса реагентов (ионов - от плазменного источника, атомов технологического газа – в результате контролируемой подачи его в рабочий объём вакуумной камеры). Если для условий плазмохимического синтеза вакуумно-плазменных покрытий считать технологический объём вакуумной камеры реактором идеального смешивания (т.е, допустить, что процесс фазо- и структурообразования происходит в стационарном режиме) тогда изменение концентрации продукта реакции будет пропорционально объёмной скорости подачи реагента к поверхности конденсации и разности концентрации хотя бы одного из реагентов на граница плазма – поверхность покрытия.

1. Иванов И.А. Условия формирования плазмы дугового разряда в вакууме и ее использование для упрочнения поверхностей сталей и сплавов // Современные технологии для заготовительного производства: сб. научных работ респ. н.-технич. конф. Минск: БНТУ. – 2021. – с. 81.

УДК 621.78; 621.179.2

ЗАВИСИМОСТЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОТ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Кане М.М., Крайко С.Э., Раманович А.А.

Белорусский национальный технический университет

Вырубные штампы широко используются при изготовлении различных изделий машино- и приборостроения из листового материала. В общем