

1. МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.785.539

Л.С.Ляхович, докт. техн. наук,
И.Н.Бурнышев, аспирант,
Л.А.Васильев, канд. техн. наук,
Ю.Н.Пресман, канд. техн. наук (БПИ)

К ВОПРОСУ СИЛИЦИРОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

В работе исследовали влияние состава насыщающей смеси, температуры и времени химико-термической обработки (ХТО) на процесс формирования защитных силицидных покрытий и некоторые возможные пути интенсификации силицирования.

Диффузионное насыщение кремнием осуществляли как в обычных, так и металлотермических порошковых смесях. В первом случае в качестве кремнийсодержащего вещества применяли порошок кремния, во втором - его двуокись. С целью получения диффузионного слоя, оптимального по толщине и качеству поверхности, изучали влияние состава насыщающей среды, температурно-временных условий обработки и типа активатора на указанные характеристики покрытия.

Установлено, что толщина силицидного слоя без учета зоны твердого раствора мало зависит от типа исследованных активаторов. Несколько бóльшая толщина слоя получалась при использовании в качестве активатора хлористого (или фтористого) аммония, но в этом случае диффузионный слой и поверхность силицированных образцов значительно хуже, чем при применении фторидов натрия, калия и алюминия. Аналогичные результаты были получены и при силицировании в алюмотермических смесях. Толщина силицидных покрытий, полученных в результате насыщения при 950°C в течение 4 ч, во всех случаях не превышала 15-20 мкм. Повышение температуры обработки приводило к росту толщины слоя по экспоненциальному закону.

Проведенный рентгеноструктурный анализ силицированных образцов титановых сплавов ВТ1-1, ОТ4 и ВТ14 показал, что

диффузионные слои состоят из силицидов титана $TiSi_2$ и Ti_5Si_3 , под которыми находится зона твердого раствора кремния в титане. Микротвердость слоев $H_{D0,490} = 10000-11000$, причем микротвердость для сплавов OT4 и BT14 несколько выше, чем для сплава BT1.

Диффузионное насыщение титановых сплавов кремнием из рассмотренных порошковых смесей не всегда обеспечивает требуемую толщину покрытий. Обычно для увеличения толщины защитного слоя и повышения производительности технологического процесса ХТО повышают температуру насыщения. Однако это часто приводит к нежелательному росту зерен структуры, что понижает механические характеристики сплавов. Отсюда возникает необходимость поиска путей интенсификации процессов диффузионной обработки без повышения температур насыщения. Одним из возможных вариантов решения этой задачи является создание на упрочняемой поверхности жидкой фазы путем добавки в насыщающую смесь легкоплавких элементов или эвтектических составляющих.

С этой целью проведено исследование влияния некоторых легкоплавких элементов ($Zn, Sn, Pb, Cd, Bi, Sb, Al$) на процесс ХТО. Экспериментальные данные показали, что введение в насыщающие силицирующие смеси порошков висмута, кадмия, олова, свинца, цинка и алюминия не позволяет при рассмотренных условиях насыщения интенсифицировать процесс силицирования и получить диффузионные слои требуемого фазового состава. Наилучшие результаты получены при добавлении в насыщающие смеси порошка сурьмы. В этом случае толщина диффузионного слоя значительно превышала толщину слоев, полученных насыщением без добавок этого элемента. Рентгеноструктурным анализом установлено наличие на поверхности покрытия фазы $TiSi_2$ с небольшим количеством соединений титана с сурьмой, относительное содержание которых возрастает с увеличением количества добавки Sb в насыщающей смеси.

Большой интерес представляет изучение возможности получения силицидных покрытий из насыщающих смесей, содержащих дополнительно медь. Выбор этого элемента обусловлен образованием при температуре $802^{\circ}C$ в системе $Si - Cu$ эвтектической жидкой фазы.

Считая, что скорость роста диффузионных покрытий в данном случае определяется присутствием в смеси жидкой фазы, в первую очередь при исследовании процесса силицирования изучались факторы, которые способны влиять на ее количество. К таким

факторам следует отнести содержание меди и инертной добавки в насыщающих смесях и температуру обработки. Согласно диаграмме Si — Cu, увеличение содержания меди и повышение температуры насыщения должно приводить к увеличению количества жидкой фазы в смеси и, следовательно, к интенсификации роста силицидных слоев. Инертная добавка должна действовать противоположным образом: уменьшать количество жидкой фазы и зону возможного контакта этой фазы с насыщаемым образцом. Экспериментальные данные подтвердили эти предположения. При малых содержаниях меди (менее 10% по массе от общего состава смеси) толщина силицидных слоев мало отличается от соответствующих значений толщин обычных силицидных покрытий, но с увеличением ее содержания (свыше 10%) наблюдается резкое увеличение толщины слоя. Большие добавки меди (свыше 40%) приводили к снижению качества поверхности образцов, поэтому при дальнейших исследованиях ее содержание в смеси не превышало 30%. Увеличение в смеси инертной добавки Al_2O_3 приводит к резкому уменьшению толщины слоев, и при 50%-ном содержании окиси алюминия эффект интенсификации силицирования за счет добавок меди исчезает.

Процесс формирования покрытий существенно зависит от температур насыщения. При низких температурах (ниже $802^{\circ}C$ жидкая фаза не образуется) толщина силицидных покрытий не зависит от содержания меди в смеси. При температурах выше $802^{\circ}C$ наблюдается значительная интенсификация процесса роста силицидных слоев. Например, для сплава ВТ1-0 толщина покрытия, полученного при силицировании с добавкой 30%-ной меди при температуре $850^{\circ}C$ в течение 6 ч, в 4 раза превышает толщину обычного силицидного покрытия.

Исследование структуры полученных силицидных покрытий методами металлографического и дюрметрического анализов не выявили существенных отличий в структурах покрытий, полученных как обычным силицированием, так и с добавлением меди.