

ИДНС (рис. 2) представляет собой металлическую пластину-3 с посадочным местом для ПУ-1 с тензодатчиками-2 расположенными определенным образом. Используя МКЭ, была получена зависимость направления силы реакции опоры от показаний тензодатчиков.

Зная направление реакции опоры, остаточное НДС составных частей можно определить оптимальное положение плоскости минимальной жесткости и проектировать ПУ с увеличенным сроком службы.

Благодаря правильному расположению плоскости минимальной жесткости упругая деформация обеспечивает более равномерное контактное давление на тела качения, находящиеся в зоне нагружения.

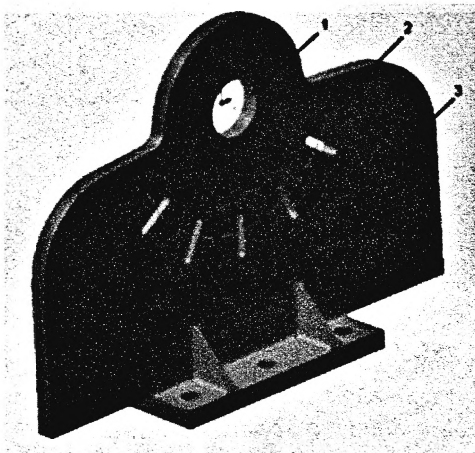


Рисунок 2 – Модель ИДНС

Лойко В.А., Сёмин Е.В.

Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ ХРОМ – НИТРИД ХРОМА В СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЯХ

Постоянно обостряющийся дефицит материалов на основе вольфрама и его соединений диктует необходимость поиска альтернативных материалов и технологий нанесения покрытий. Нанесение вакуумно-плазменных покрытий из нитридов переходных металлов, особенно TiN и CrN, в значительной мере позволяют решать поставленные задачи, однако возможности повышения твердости поверхностного слоя при их нанесении ограничены. Поэтому более перспективными являются сложнелегированные конденсаты.

Твердость покрытий повышается за счет дисперсной структуры, характерной для композиционных пленок. Однако необходимо принимать во внимание, что измельченная структура может вызвать изменение термодинамических характеристик и привести к сдвигу фазовых полей на диаграммах состояния.

Высокая температура плавления многих нитридов, их своеобразные физико-механические свойства (большая твердость, абразивная способность, тугоплавкость, пластичность при высоких температурах и др.) обуславливают широкий интерес к материалам на их основе.

Важным отличием тугоплавких соединений, построенных по типу фаз внедрения, является способность образовывать дефектные структуры с недостатком атомов неметалла в решетке. Дефектность структуры в большой степени влияет на их свойства. Идеальная стехиометрия в этих фазах обычно не наблюдается, для них более характерны отклонения от стехиометрии. При образовании таких дефектных структур до определенного содержания неметалла структура остается неизменной, меняется лишь параметр соответствующей кристаллической решетки, а также физические свойства.

Наиболее важным свойством нитридов является твердость. Это свойство имеет особое значение при использовании таких соединений в качестве спеченных и литых твердых сплавов, для изготовления износостойких деталей, получения износостойких покрытий и т.д. Прежде всего, твердость – это характеристика, отражающая энергию связи и симметрию структуры. С другой стороны, это и деформационная характеристика, коррелирующая с некоторыми механическими свойствами. Твердость соединений связана с типом и характером распределения в них связей возрастает с ростом энергии решетки, теплоты образования и энергии атомизации, причём большей величине энергии межатомного взаимодействия соответствует большая твердость. Для соединений с большими значениями модуля упругости характерна и большая твердость, вследствие пропорциональности между напряжениями, необходимыми для движения дислокаций и модулем упругости. Твердость материала, обуславленная особенностями электронного строения, коррелирует с плотностью состояний на уровне Ферми: ниже плотность – выше твердость [3].

Покрытие было нанесено методом низкотемпературной вакуумно-плазменной конденсации при помощи установки «Булат-3Т». Перед нанесением образцы были подготовлены по технологии, включающую механическую обработку, полировку и очистку в ОЗУ-025. Процесс формирования покрытия протекал в две стадии. На первом этапе к образцу было приложено напряжение порядка 1,3 кВ при давлении в вакуумной камере порядка 10-3 Па. В результате ионной бомбардировки происходила очистка, активация и разогрев поверхности инструмента до температуры 150–180 °С. На втором этапе в камеру поступал реактивный газ азот, напряжение было снижено до 100–200 В, процесс осаждения покрытия осуществлялся за счет протекания плазмохимических реакций на поверхности образца.

Из рассмотрения сканограмм стадий формирования плазменно-вакуумного покрытия CrN на среднеуглеродистой низколегированной стали в зависимости от времени осаждения следует, что вследствие высокой скорости кристаллизации, на активных центрах поверхности возникают и растут зерна покрытия, в то время как

остальные (неактивные) участки практически не реагируют, а заметны лишь отдельные точки, где прошла реакция осаждения. Изолированные зародыши новой фазы постепенно растут, образуют законченные цепочки, а затем формируют сплошной слой [2]. Сканограмма уже сформированного покрытия CrN показывает наличие частиц расплавленного металла, образовавшихся в процессе напыления (рис. 1).

Однако, при адсорбции активной молекулы на поверхности твердого тела диффузия по поверхности зависит от размера зёрен. На мелкозернистой поверхности адсорбция происходит преимущественно по границам зёрен, независимо от их ориентировки. В случае крупнозернистой структуры играет роль ориентировка зерна.

Присутствие атомов легкого элемента (N) в процессе образования покрытия CrN активирует и направляет процесс, т.е. приводит систему к энергетически более стабильному состоянию [1].

Формирующаяся структура на начальной стадии – мелкозернистая, плотная, кристаллографическая структура отсутствует до толщины покрытия 2–4 мкм.

В последующем, когда компоненты поверхностного слоя не принимают участие в реакциях восстановления и образования покрытия, процесс осаждения постепенно изменяется в сторону образования столбчатых структур (рис. 2). Проведенный рентгенофазовый анализ пленок CrN выявил различные фазовые составы; фор-

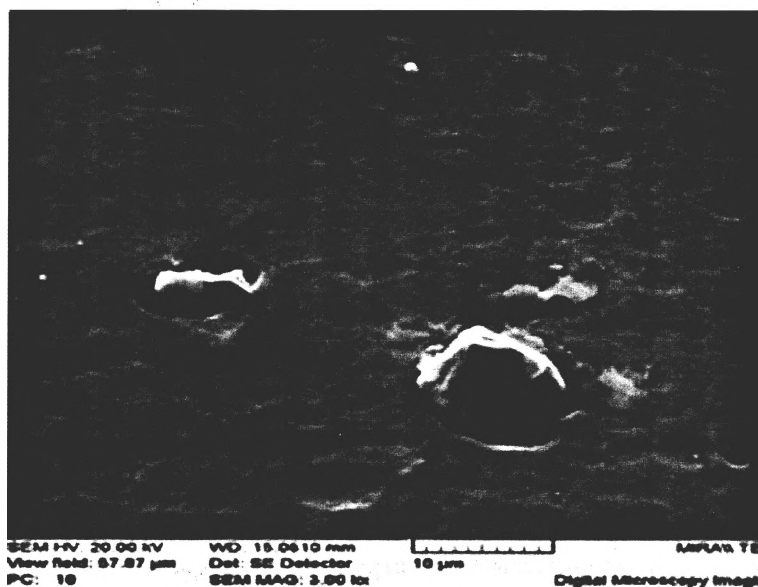


Рисунок 1 – Сканограмма нитридного покрытия CrN, SEM MAG, WD: 150610 мм

мирующиеся при разных давлениях азота: при низких давлениях образовывалась фаза Cr_2N , при дальнейшем увеличении давления обнаружена двухфазная структура $\text{Cr}_2\text{N}+\text{CrN}$. И, наконец, при максимальных давлениях образовывалась однородная структура CrN . Электронный микроскопический анализ пленок выявил неоднородность структуры и образование микрокапельной металлической фазы при низких давлениях азота (рис. 2). Как следствие образование капельной фазы и, вероятно, заметный рост пористости при низком давлении газа покрытия приводили к низкому модулю упругости.

Дефекты структуры изменяют химический потенциал поверхности, по этой причине зародышеобразование происходит избирательно. Образование зародыша вызывает искажение фазы, которое способствует образованию и росту новых зародышей. С течением времени скорость реакции возрастает за счёт увеличения реакционной поверхности вследствие роста зародышей, которые реализуются в сплошное покрытие. Тем не менее, даже в конечном варианте покрытия, ему присуще

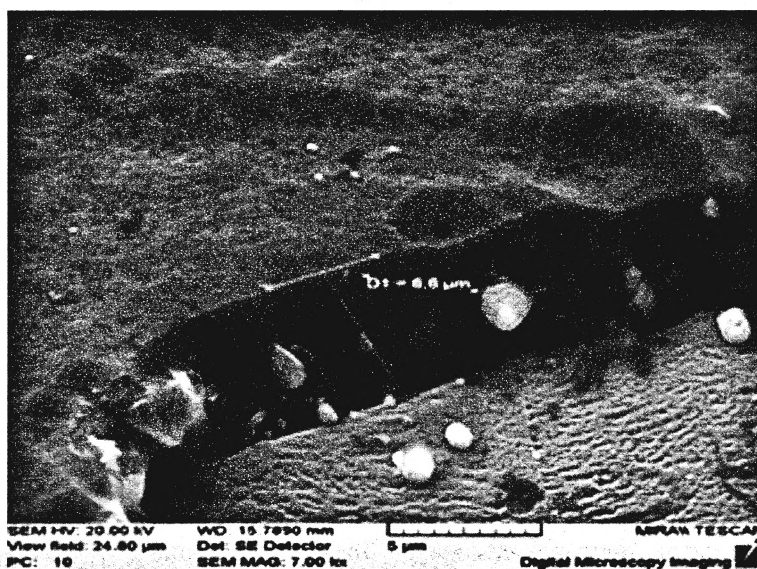


Рисунок 2 – Образование столбчатой структуры на покрытии CrN , SEM MAG, WD: 157890 мм

наличие подобного рода дефектов.

Высокие физико-механические характеристики вакуумно-плазменного покрытия CrN расширяют сферу его применения. Изученные дефекты, характерные для данного покрытия, не влияют значительно на его свойства.