

УДК 537.521

В.О. Мушегян

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НИТРИДА ХРОМА НА ЧЕКАНОЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Предложен способ покрытия рабочей поверхности чеканочного инструмента нитридом хрома с помощью магнетронного распыления. Теоретически установлены условия удовлетворительной адгезии покрытия. Детально описана технология нанесения покрытия, приведены эскизы рабочих узлов.

Ключевые слова: магнетронное напыление, износостойкое покрытие, чеканочный инструмент, вакуумная камера, покрытие, ионный источник

Введение

Восстановление и упрочнение деталей машин и инструментов, работающих в условиях высоких динамических нагрузок, является важной практической задачей в связи с быстрым их износом. В полной мере это касается чеканочного инструмента, применяемого, например, для чеканки монет. Особой защиты требует поверхностный слой рабочей части инструмента – для этого применяют износостойкие покрытия [1].

Анализ метода магнетронного распыления

Одним из самых эффективных методов нанесения тонкопленочных покрытий является магнетронное распыление материалов [2]. Магнетронные системы относятся к системам распыления диодного типа, в которых распыление материала происходит за счет бомбардировки поверхности мишени ионами рабочего газа (обычно аргона), образующимися в плазме аномального тлеющего разряда. Высокая скорость распыления, характерная для этих систем, достигается увеличением плотности ионного тока за счет локализации плазмы у распыляемой поверхности мишени с помощью сильного поперечного магнитного поля. Магнетрон используется для напыления металлических и иных покрытий толщиной до 5 мкм способом конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой электропроводящей мишени материала. Возможно также получение соединений металла с различными газами (оксиды нитриды и др.). Средняя скорость осаждения различных материалов с помощью магнетронной распылительной системы, имеющей плоскую мишень, при расположении инструментов на расстоянии 80 мм от магнетрона следующие:

Материал	Si	Ti	Ta	W	Nb	Mo	Al	Cr	Pt	Cu	Au	Ag
Скорость осаждения, нм/с	7	8	8	8	8,5	12	13	17	21	30	37	44

Постановка задачі.

Задачей данной работы была разработка технологии нанесения износостойких покрытий на поверхность чеканочного инструмента.

Основная часть

Технология. Технологию нанесения магнетронного покрытия (применялся нитрид хрома) на поверхность чеканочного инструмента можно условно разделить на три части:

- подготовка вакуумной камеры.
- подготовка поверхности чеканочных инструментов.
- выбор основных режимов напыления, материалов и оснастки.

Для нанесения на стальные инструменты из подшипниковой стали ШХ15 хрома или нитрида хрома покрываемую поверхность необходимо подвергать электрохимическому обезжириванию в растворе, содержащем 35 г/л NaOH, 25 г/л Na₂CO₃, 55 г/л Na₃PO₄ и 10 г/л жидкого стекла при температуре 80-90°C, плотность тока 6 А/дм² в течение 20 мин и декапирования в 5%-ном растворе NaOH, и после промывки в проточной воде просушить горячим воздухом. В реальных условиях после химической подготовки на поверхности стали образуется естественная оксидная пленка толщиной 4-5 нм. Поэтому, возникновение металлических связей между покрытием и подложкой возможно только при взаимной диффузии атомов Fe и Cr в оксид. Для проверки этого предположения проведен теоретический расчет силы адгезии покрытий со сталью.

Концентрацию атомов Fe, продиффундировавших в пленку оксида, можно рассчитать, используя решение уравнения диффузии для случая, когда диффузия происходит из постоянного источника в пленку конечной толщины:

$$C(t) = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{2k+1} \exp \left[-\frac{(2k+1)^2 \pi^2 D t}{4l^2} \right] \quad (1)$$

где D - коэффициент диффузии Fe в оксид; l - толщина пленки; t - время диффузии.

Если поверхностный слой оксида на поверхности стали насыщен продиффундировавшими атомами железа, то количество металлических связей, возникающих на границе раздела инструмента с покрытием, определяется числом N атомов хрома, диффундирующих в инструмент на глубину порядка постоянной решетки. Величину N можно подсчитать, используя решение для случая диффузии из постоянного источника в тело полубесконечных размеров:

$$N = N_0 \left[1 - \Phi \left(\frac{d}{2\sqrt{Dt}} \right) \right] \quad (2)$$

где d – постоянная решетки основы; $\Phi(x)$ – известная функция Крампа; N_0 – максимально возможное количество атомов Cr на 1 см^2 сечения (N_0 связано с растворимостью Cr в данном материале). По данным работы [4], коэффициент диффузии хрома в сталь, $\text{см}^2/\text{с}$.

$$D = 13,8 \cdot \exp\left(-\frac{31600}{T}\right) \quad (3)$$

где T – температура, К.

Учитывая изложенное выше, можно записать, что адгезия, Па

$$A = kNf = kN_0f \left[1 - \Phi\left(\frac{d}{2\sqrt{Dt}}\right)\right] \quad (4)$$

где f – прочность единичной металлической связи, Н; k – безразмерный коэффициент, учитывающий уменьшение числа возможных связей в зависимости от степени чистоты подложки и наличия дефектов структуры.

Из выражения (4) следует, что максимальное значение силы сцепления покрытия с основой

$$A_{\max} = kN_0f \quad (5)$$

Разделив выражение (4) на (5), получаем

$$\frac{A}{A_{\max}} = 1 - \Phi\left(\frac{d}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (6)$$

Формула (6) позволяет рассчитать изменение адгезии в зависимости от температуры конденсации [5]. Учитывая вышеизложенное, для достижения удовлетворительной адгезии нитрида хрома на поверхности инструмента можно наносить предварительный слой чистого хрома и плавно переходить на нитрид хрома.

Для нанесения покрытий чеканочные инструменты загружают в вакуумную камеру, где расположено приспособление (приемник) для вращения заготовок. Так как требуется получить покрытие из нитрида хрома, на магнетрон устанавливается мишень из чистого хрома с медной накладкой. В результате многочисленных экспериментов и испытаний разработана оптимальная технология нанесения покрытия.

Согласно формуле (6) при температуре $170-190^\circ\text{C}$ достигается достаточная адгезия на поверхности инструмента. Для контроля и обеспечения рабочей температуры на поверхности инструментов, необходимо следить за оптическим пирометром. Очень важную роль в процессе очистки играет ионный источник «АИДА». Источник представляет собой торцевой ускоритель Холла, предназначенный для ионного ассистирования при осажде-

нии вакуумных покрытий, а также для реактивного травления, окисления и других технологических процессов. Принцип работы ионного источника дается со ссылкой на рис. 1. Нейтральные атомы или молекулы обозначены символом "O". Электроны обозначены отрицательным символом "-", а ионы - знаком "+".

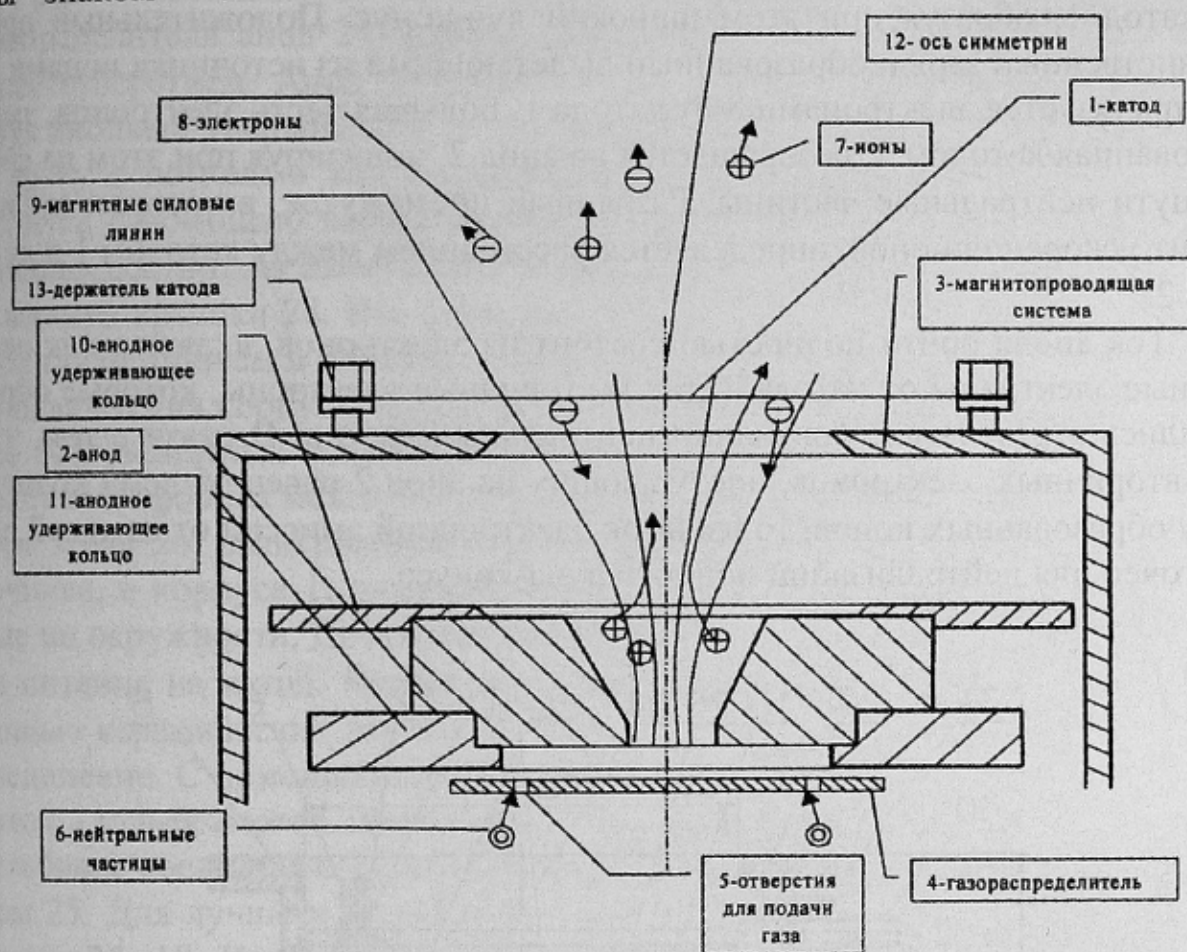


Рисунок 1 – Поперечное сечение верхней части ионного источника.

Нейтральные атомы или молекулы рабочего газа подаются в ионный источник через отверстия или прорезы 5 газораспределителя 4. Электроны 8, обладающие некоторой энергией при термоэлектронной эмиссии катода, следуют вдоль линий магнитного поля 9 в разрядную область, ограниченную анодом 2 до столкновения с атомами или молекулами в этой области. В результате столкновений образуются ионы. Смесь электронов и ионов в области разряда образуют газ, обладающий проводимостью, или плазму. Так как плотность нейтральных атомов или молекул быстро снижается в направлении от анода 2 к катоду 1, то большая часть ионизирующих столкновений с нейтральными частицами происходит в области, ограниченной анодом 2. Образовавшиеся ионы первоначально ускоряются как в направлении катода 1, так и по направлению к оси симметрии ионного источника 12. Обладая импульсом силы, эти ионы не останавливаются вблизи оси симметрии 12 ионного источника, а продолжают перемещаться к

внутренней конусной поверхности анода 2, а затем отражаются данной поверхностью, имеющей положительный потенциал. В зависимости от того, где образуется ион 7, он может пересекать ось симметрии более одного раза до того как он покинет ионный источник. Из-за большого количества траекторий, ионы 7, которые покидают ионный источник, перемещаются за катод 1, образуя при этом широкий луч-конус. Положительный пространственный заряд, образованный вылетающими из источника ионами 7, нейтрализуется электронами 8 от катода 1. Большая часть электронов, эмитированная катодом 1, возвращается на анод 2, ионизируя при этом на своем пути нейтральные частицы. Разрядный промежуток, в котором происходит ускорения ионов, определяется расстоянием между катодом 1 и анодом 2.

Ток анода почти полностью состоит из электронов, включая как первичные электроны от катода 2, так и вторичные электроны, которые образовались в результате ионизации нейтральных частиц. В связи с тем, что ток вторичных электронов, поступающих на анод 2 равен общему количеству образованных ионов, то избыток электронной эмиссии от катода 2 достаточен для нейтрализации ионного луча-конуса.

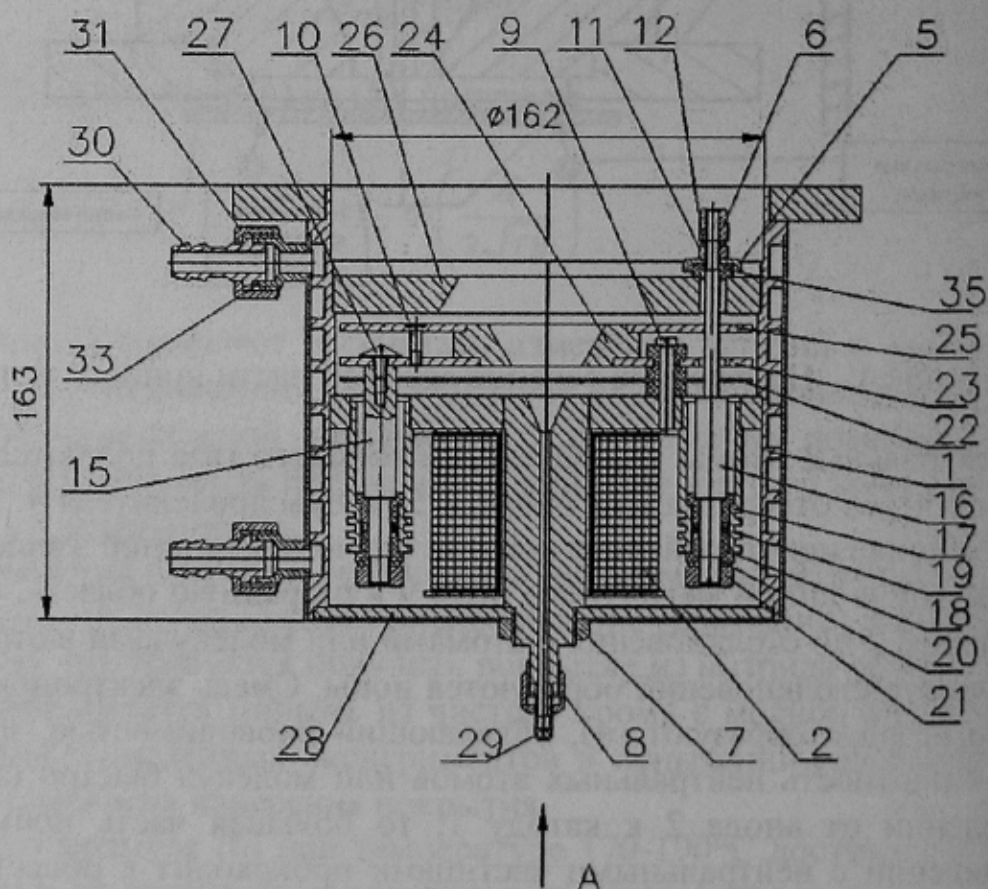
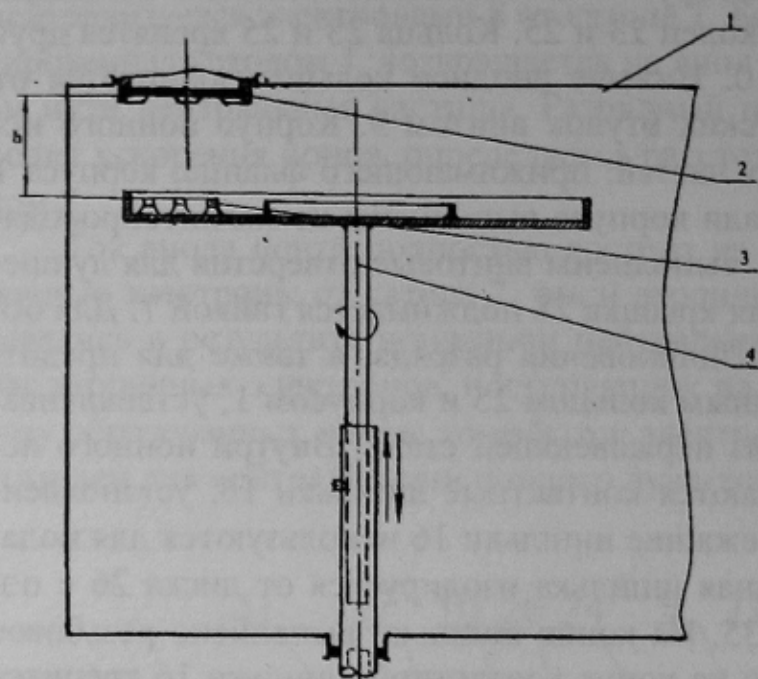


Рисунок 2 – Поперечное сечение ионного источника.

Ионный источник (рис. 2) выполнен для монтажа снаружи камеры вакуумной установки. В корпусе 1 ионного источника размещены: соленоид 2 с сердечником, в котором выполнен канал для подачи рабочего газа, изолированный от корпуса газораспределитель 22, в виде диска с отверстиями, расположенными по окружности, и изолированный от корпуса и газораспределителя анод 24, в виде цилиндра с осевым внутренним коническим отверстием. Анод 24 фиксируется в ионном источнике с помощью двух анодных удерживающих колец 23 и 25. Кольца 23 и 25 крепятся друг к другу с помощью винтов 10. Нижнее анодное кольцо изолируется от корпуса с помощью керамических втулок винтом 9. Корпус ионного источника состоит из нескольких частей: прижимающего фланца, корпуса 1 и нижней крышки 28. Все детали корпуса выполнены из магнитопроводящей стали, причем в корпусе 1 выполнены винтовые отверстия для лучшего охлаждения корпуса. Нижняя крышка 28 поджимается гайкой 7. Для более благоприятных условий возникновения разряда, а также для предотвращения пробоев между анодным кольцом 25 и корпусом 1, устанавливается экран 26, выполненный из нержавеющей стали. Внутри ионного источника, в корпусе 1, размещаются контактные шпильки 16, установленные по окружности. Противоположные шпильки 16 используются для подачи питания на катод. Контактная шпилька изолируется от диска 26 с помощью керамических втулок 35. На конце шпильки выполнено резьбовое соединение. С помощью гаек 6 на конце контактной шпильки 16 крепится катод (вольфрамовая проволока). На анодных шпильках 16 выполнено резьбовое соединение 27 для плотного контакта с верхним анодным кольцом 25. Для лучшего охлаждения на концах шпилек 16 устанавливаются радиаторы 18. Каждая контактная шпилька изолируется от корпуса с помощью изолятора 35, прокладок 19 и изолятора 35. Все изолирующие контактную шпильку от корпуса детали поджимаются гайкой 21. Газораспределитель 22 и анод 24 изготовлены из нержавеющей стали. Катод изготовлен из вольфрамовой проволоки $\varnothing 0,4 \div 0,6$ мм. При использовании вольфрамовой проволоки различных диаметров следует подбирать длину катода таким образом, чтобы обеспечить максимальную яркость при прохождении через проволоку-катод электрического тока, а следовательно и максимальную электронную эмиссию. Допускается наличие одного-двух витков на катоде-проволоке. На конце сердечника выполнен штуцер для соединения канала с источником подачи рабочего газа через трубку 29. Трубка 29 крепится на штуцер с помощью гайки 8. Ионный источник крепится к вакуумной камере вакуумной установки при помощи фланца, выполненного из нержавеющей стали.

Для изменения толщины покрытий, можно экспериментально изменить время напыления и опорное напряжение U_2 , учитывая скорость испарения материала мишени. При соблюдении указанного режима обеспечивается адгезия, твердость и толщина покрытий (результаты лабораторных

испытании БМД). Для обеспечения дозированного притока газов, используют натекатели с автоматическими блоками управления (общий вид и принцип работы натекателей изложены ниже). Плавное регулируя режим процесса напыления, можно построить зависимость толщины покрытия от времени, силы тока, опорного напряжения, расстояния между мишенью и скоростью вращения рабочего стола. На рис.3 показана схема расположения образцов в камере.



- 1- вакуумная камера,
- 2- мишень магнетрона,
- 3- напыляемые изделия,
- 4- рабочий вращающийся стол,
- h - расстояние от мишени до напыляемой поверхности.

Рисунок 3 – Схема расположения оборудования и образцов в рабочей камере.

На рис.4 показана конструкция натекателя.

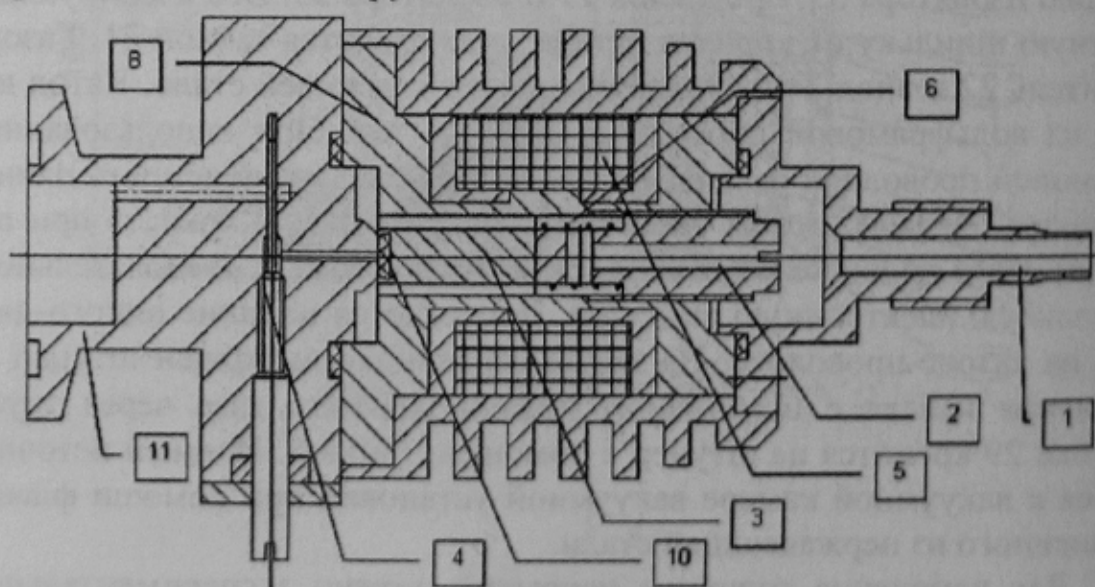


Рисунок 4 – Натекатель.

Натекатели обеспечивают дозированный приток газа и поддержание давления в вакуумной камере. Подача газа осуществляется по входной трубке 1, через винтовой регулируемый сердечник 2 газ попадает в полость корпуса, где и происходит основной процесс регулирования подачи газа. Регулирующими элементами являются якорь 3 (имеющий резиновую вставку 10) и стержень с иглой 4. При подаче на соленоид 5 управляющего напряжения якорь 3 втягивается внутрь катушки (преодолевая сопротивление пружины 6) и открывает проход газу через отверстие. Расход газа определяется скважностью импульсов управляющего сигнала, подаваемого на соленоид 5. Смещение диапазона регулирования в сторону больших или меньших расходов осуществляется при настройке регулировочным винтом 7. Вся конструкция собрана в корпусе 8. Присоединение натекателя к вакуумной камере осуществляется фланцем 11. Герметичность по вакууму обеспечивается с помощью резинового кольца 9.

В результате многочисленных экспериментов, установлены диапазоны изменений основных технологических параметров, обеспечивающих удовлетворительное покрытие. На рис.5, в качестве примера, показана зависимость между временем испарения мишени и толщиной покрытия.

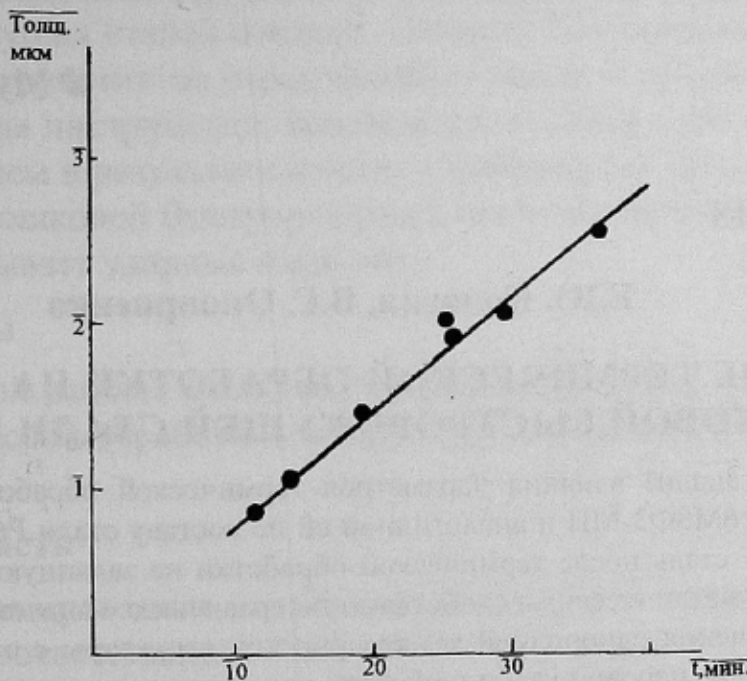


Рисунок 5 – Зависимость толщины покрытия от времени испарения.

Выводы

Предложенная технология магнетронного напыления позволила достичь значительного практического результата – экспериментальные образцы покрытий чеканочного инструмента показали износостойкость в 3,6 раза большую аналогичных образцов, полученных с помощью ионно-

плазменного напыления [6]. Вместе с тем, для создания технологии промышленного уровня потребуются дополнительные эксперименты для определения оптимального уровня технологических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнесин Г.Г. Износостойкие покрытия на инструментальных материалах (обзор) / Г.Г. Гнесин, С.Н. Фоменко // Порошковая металлургия. – 1996. – № 9-10. – С.17–26.
2. Данилин Б.С. Магнетронные распылительные системы / Б.С. Данилин, В.К. Сырчин. – М.: Радио и связь, 1982. – 72с.
3. Хасуй А. Техника напыления / А. Хасуй. – М.: Машиностроение, 1975. – 288с.
4. Получение пластичных хромовых покрытий на легированных сталях / Пономаренко Е.П. и др. // Известия АН СССР. Металлы. - 1971, №4 – С.249-257.
5. Ройх И.Л. Защитные вакуумные покрытия на стали / И.Л.Ройх, Л.Н.Колтунова. – М.: Машиностроение, 1971. – 280с.
6. Кайдалов А.А. Плазменная обработка режущего и абразивного инструментов для повышения их износостойкости / А.А. Кайдалов // Инструментальный світ. –2001. – № 12. – С. 31–33.

Поступила в редакцию 29.05.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Н. Смирнов

© Мушегян В.О., 2010

УДК 669.14.018

Е.Ю. Колягин, В.Г. Оноприенко

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ПОРОШКОВОЙ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5Ф3-МП

Выполнен анализ влияния параметров термической обработки на структуру и свойства стали Р6М5Ф3-МП и аналогичной ей по составу стали Р6М5Ф3. Порошковая быстрорежущая сталь после термической обработки на заданную твердость обладает более высокими механическими свойствами по сравнению с аналогичной литой сталью вследствие получения однородной мелкозернистой структуры с равномерным распределением высокодисперсной карбидной фазы.

Ключевые слова: порошковая быстрорежущая сталь, термическая обработка, твердость, вязкость

Введение

При производстве стандартных быстрорежущих сталей, применяемых для изготовления режущего инструмента, возникают сложности в получении мелкозернистой однородной структуры с равномерным распределением карбидной фазы. В структуре этих сталей часто наблюдается большая карбидная неоднородность, которая значительно ухудшает динамическую