

В диссертационный совет Д 24.2.327.04
в ФГБОУ ВО «Московский
авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»
(МАИ)

Ученому секретарю дис. совета
д.т.н., доц. Скворцовой С.В.
125993, г. Москва, Волоколамское
шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3, МАИ.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Чекаловой Елены Анатольевны**
«Научные и технологические основы формирования на поверхности
режущего инструмента и деталей дискретных диффузионных оксидных
слоев для повышения их долговечности», представленной к защите на
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5
– Порошковая металлургия и композиционные материалы

В диссертационной работе Е.А. Чекаловой представлен новый метод нанесения покрытия, способствующий увеличению прочности и жесткости за счет релаксации напряжений, полученных в процессе нанесения покрытия. Научная новизна заключается в оригинальной методике формирования дискретного диффузионного оксидирования, в новом методе нанесения покрытия путем осаждения заряженных ионов кислорода током коронного разряда и установление функциональных связей между композицией дискретного диффузионного оксидирования и технологическими параметрами процесса его формирования. На разработанный автором новый технологический процесс получен патент.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Установлено, что при обработке током коронного разряда в диапазоне $I_K = 140 - 440$ мкА при температуре 20–25°C на поверхности инструментальных и конструкционных материалов Р6М6, Р6М5К5, ВК10ХОМ, ВТЗ-1 происходит образование дискретных оксидных слоев состава $(Fe_xO(x \sim 0,84 - 0,96), Fe_2O_3; Fe_3O_4; WO_2(\delta); Co_3O_4(II, III), CoO(II); WO_{2,90}; WO_{2,72}; TiO, Ti_2O)$.

2. Разработана физико-химическая модель формирования диффузионного дискретного оксидного слоя в зоне контакта металла с потоком образующейся холодной воздушной плазмы. На основе разработанной модели рассчитаны пороговый коэффициент активации коронного разряда начала протекания процесса ионизации и электрические параметры стационарного процесса формирования оксидного слоя. Показано, что плотность заряда и положительных ионов, осаждаемых на поверхности

металла, должны соответствовать $\rho_i^+ \sim K_i^+ \cdot \rho_C = (1,23-12,3) \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3$ и $n_i^+ \sim K_i^+ \cdot n_C = (2,547-25,47) \cdot 10^{16} \text{ 1/м}^3$, соответственно.

3. Разработана физическая модель, описывающая влияние дискретного и сплошного диффузионного оксидного слоя на долговечность и физико-механические свойства поверхностного слоя металлических материалов. На основании сопоставления упругой деформации, модуля упругости и коэффициента Пуассона показано, что при фиксированной относительной деформации образца наличие диффузионного дискретного оксидного слоя приводит к снижению растягивающих напряжений в прилегающем к этому слою металле, изменению термофлуктуационного механизма разрушения нагруженных межатомных связей, приводящих к увеличению долговечности металла.

4. В качестве характеристики энергоемкости инструментального материала по отношению к износу предложена эффективная молярная энергия активации $U_{ЭФ}$. Установлена взаимосвязь между периодом стойкости режущего инструмента $T_{СТ}$, средней температурой его режущей кромки T и соответствующей им эффективной величиной молярной энергоемкости $U_{ЭФ}$ процесса износа.

5. Установлено влияние химического состава газовой среды и параметров коронного разряда на структуру оксидного слоя на поверхности подложки из обрабатываемого материала. Показано, что поликристаллическая структура со средним размером зерна около 4 мкм, содержащая промежуточные оксидные фазы (Fe_xO ($x \sim 0,84-0,96$), Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; $\text{WO}_2(\delta)$; $\text{Co}_3\text{O}_4(\text{II}, \text{III})$, $\text{CoO}(\text{II})$; $\text{WO}_{2,90}$; $\text{WO}_{2,72}$; TiO , Ti_2O) нестехиометрического состава, формируется в дискретном слое толщиной 0,90-0,95 мкм, при этом тип оксидных фаз определяется разным процентным содержанием кислорода в потоке холодной плазмы.

6. Показано, что в процессе обработки резанием в результате нагрева инструмента из сплавов на основе железа происходит насыщение дискретного слоя оксидов кислородом и их переход в стабильную стехиометрическую фазу типа Fe_3O_4 . Этот процесс начинается с образования гематита, затем, по мере возрастания температуры нагрева инструмента и снижения концентрации кислорода под слоем гематита образуется слой магнетита и ниже слой вюстита. Таким образом, чем выше температура, тем больше в окалине вюстита и меньше гематита. Указанная эволюция фазового состава дискретного оксидного слоя повышает эффективную величину молярной энергоемкости $U_{ЭФ}$ и, соответственно, повышает износостойкость режущих кромок.

7. Построена математическая модель для решения задачи по оптимизации параметров процесса нанесения локального диффузионного дискретного оксидного слоя. Модель основана на использовании мультипликативной экспоненциально-степенной функции, выражающей

зависимость величины изнашивания задней поверхности режущей кромки пластины от тока коронного разряда, давления сжатого воздуха, угла наклона сопла к образцу и расстояния от сопла до образца.

8. Показано, что при поперечном точении стали 40Х резцом с твердосплавной пластиной IC50M применение дискретного оксидирования пластины вместо сплошного способствует снижению фаски износа на 23% (с 0,09 мм до 0,07 мм), а дискретное оксидирование твердосплавных фрез ВК10ХОМ – снижению износа задней поверхности зуба на 40% (с 0,20 до 0,12 мм) при черновом фрезеровании титановых лопаток из сплава ВТ6.

Практическая значимость работы:

1. Разработана технология обработки режущего инструмента на воздухе то-ком коронного разряда при температуре 20–25 °С для создания на поверхности диффузионных дискретных оксидных слоев системы $Me-MeO-MeO-O_2$. Формирование таких слоев увеличивает долговечность инструмента из быстрорежущих материалов в 1,5–3 раза, из твердосплавных материалов в 1,8–2,5 раза и циклическую долговечность на 30–50% по сравнению со сплошным стехиометрическим покрытием.

2. Разработана установка для формирования дискретного оксидного слоя на режущем инструменте и деталях различной номенклатуры и типоразмеров, отличающаяся высокой производительностью, малым потреблением энергии и ресурсов и возможностью использования для различных типов производств.

3. Разработаны практические рекомендации по выбору режимов нанесения дискретного оксидного слоя на режущую кромку инструмента для получения не-обходимой структуры, обеспечивающей высокую износостойкость: сила тока 390–410 мкА, давление сжатого воздуха 0,2–0,25 МПа, время обработки инструмента из сплавов на основе железа 3 часа; а из твердых сплавов – 4 часа.

4. Разработан способ повышения долговечности лопаток компрессора авиационных ГТД путем восстановления геометрических размеров и износостойкого покрытия антивибрационных полок (патент №2586191).

5. Разработанный технологический процесс нанесения диффузионного дискретного оксидного слоя на режущий инструмент с помощью коронного разряда находится в стадии внедрения на АО «МПО им. И. Румянцева», АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», АО «ММЗ», ПАО «АК Рубин», ООО «РИП», ООО «ИТМ» и на ООО ТД «КАЙЛАС», что подтверждено соответствующими актами.

Достоверность результатов работы подтверждается результатами проведенных исследований по упрочнению сложнопрофильного режущего инструмента для качественной обработки деталей используются на предприятиях: ОАО «МПО им. И. Румянцева», АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», ООО «ИТМ», АО «ММЗ», ПАО «АК Рубин», ООО «РИП» и на

ООО ТД «КАЙЛАС», а результаты проведенных исследований на деталях используются на АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», ООО ТД «КАЙЛАС». Экономический эффект составил свыше 40 млн. рублей (в ценах 2019 года).

Представленные в работе результаты исследований достоверны, выводы обоснованы. Основные научные результаты работы отражены в достаточном количестве публикаций. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Согласно материалам автореферата работа Чекаловой Е.А. выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченное значимое для науки и практики комплексное исследование. Содержание диссертации согласно тексту автореферата соответствует специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» поп.3., п.5 и п.6.

По автореферату имеются замечания:

1. Из текста автореферата нет информации по измерению температуры поверхности обрабатываемого объекта при оксидировании.
2. Из текста автореферата недостаточно ясно представлены и проанализированы параметры процесса оксидирования.

Указанные замечания не снижают значимости диссертации, которая выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям Положения ВАК РФ к докторским диссертациям, а ее автор, Чекалова Елена Анатольевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Ректор АНО ДПО "Институт развития новых образовательных технологий", доктор технических наук, профессор



Порошин Валерий Владимирович

Почтовый адрес: 115211, Москва, ул. Борисовские пруды, д.8/2
Телефон: +7(499)288-77-83
e-mail: info@anoipot.ru