

В диссертационный совет Д 24.2.327.04
ФГБОУ ВО «Московский авиационный
институт (национальный исследователь-
ский университет)» (МАИ)

Ученому секретарю диссертационного
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

1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время области применения режущего инструмента с нанесенным покрытием в машиностроении охватывают все основные технологические процессы, включая токарную, сверлильную и фрезерную обработку материалов и изделий. Известно, что применение режущего инструмента с покрытием увеличивает производительность и качество обработки. Однако режущий инструмент с покрытием, несмотря на высокую твердость и прочность, не всегда выдерживает заданные технологические режимы обработки и разрушается с увеличением степени термомеханических нагрузок. Поэтому существует потребность в новом методе нанесения покрытия, который будет способствовать увеличению запаса прочности и жесткости, а также снижению склонности режущей части инструмента к потере формоустойчивости при повышенных термомеханических напряжениях. В этой связи тема диссертации Чекаловой Е.А. актуальна и направлена на принципиально новое решение проблемы долговечности деталей машин и обрабатываемого инструмента.

3. Научная новизна и достоверность результатов работы

Научные положения, выдвинутые и решенные соискателем в диссертации сводятся в основном к следующему:

1. Установлено, что при обработке током коронного разряда в диапазоне $I_K = 140 - 440$ мкА при температуре $20-25^\circ\text{C}$ на поверхности инструментальных и конструкционных материалов Р6М6, Р6М5К5, ВК10ХОМ, ВТ3-1 происходит образование дискретных оксидных слоев состава (Fe_xO ($x \sim 0,84-0,96$), Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; $\text{WO}_2(\delta)$; $\text{Co}_3\text{O}_4(\text{II,III})$, $\text{CoO}(\text{II})$; $\text{WO}_{2,90}$; $\text{WO}_{2,72}$; 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 величине $\rho_i^+ \sim K_i^+ \cdot \rho_C = (1,23-12,3) \cdot 10^{-3}$ мг/м³ и $n_i^+ \sim K_i^+ \cdot n_C = (2,547-25,47) \cdot 10^{16}$ 1/м³, 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 $U_{\text{ЭФ}}$. Установлена взаимосвязь между периодом стойкости режущего инструмента, средней температурой его режущей кромки и соответствующей им эффективной величиной молярной энергоемкости $U_{\text{ЭФ}}$ процесса износа.

5. Установлено влияние химического состава газовой среды и параметров коронного разряда на структуру оксидного слоя на поверхности подложки из обрабатываемого материала. В частности 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 ; $\text{WO}_2(\delta)$; $\text{Co}_3\text{O}_4(\text{II,III})$, $\text{CoO}(\text{II})$; $\text{WO}_{2,90}$; $\text{WO}_{2,72}$; 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 . Протекающий процесс изменения 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 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 BK10ХОМ – снижению износа задней поверхности зуба на 40% (с 0,20 до 0,12 мм) при черновом фрезеровании титановых лопаток из сплава BT6.

4. Значимость результатов, полученных автором

1. Разработана технология обработки режущего инструмента на воздухе током 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, а также возможностью ее использования для различных типов производств.

3. Разработаны практические рекомендации по выбору режимов нане-

сения дискретного оксидного слоя на режущую кромку инструмента для получения необходимой структуры, обеспечивающей высокую износостойкость, со следующими параметрами: 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 связана с применением стандартизованных методик испытаний и измерений, а также подтверждается результатами проведенных исследований по упрочнению сложно профильного режущего инструмента, которые используются на следующих 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 также на предприятиях АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», ООО ТД «КАЙЛАС».

Разработанный автором метод достаточно универсален и может найти широкое применение, в частности, для повышения износостойкости штамповой оснастки, а также для подшипников и в разно профильных уплотнительных соединениях.

Текст автореферата диссертации отражает основное содержание работы, которая соответствует специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» по пунктам 3, 5 и 6.

По автореферату имеются замечания:

1. В автореферате представлена формула Журкова, отражена эффективная молярная энергия активации, но не представлена взаимосвязь с долговечностью.

2. Из текста автореферата недостаточно ясно, какое напряжение формируется в покрытии?

Указанные замечания не снижает практической 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.

Заведующий лабораторией ФЭДНК
ИЯФиТ НИЯУ МИФИ, к.т.н., доцент



В.И. Сурин

Подпись Сурина В.И. удостоверяю.



Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ

В.М. Самородова

Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", почтовый адрес: 115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31; телефон: +7 (495) 788-56-99; адрес электронной почты: info@nerph.ru.