

УДК 621.793.1:546.17

Е.В. Овчинников канд. техн. наук, доц. ,
Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Беларусь
Тел./факс. +375(152) 484421, E-mail:ovchin_1967@mail.ru

АНТИФРИКЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

В статье проведены исследования, которые показали высокую эффективность композиционных покрытий при обработке труднообрабатываемых материалов на высоких скоростях резания. Разработанные составы композиционных покрытий в результате испытаний на сверлах показали высокую эффективность при обработке углеродистых, а также коррозионностойких сталей. Данный эффект достигается в результате использования в качестве функционального модификатора углеродосодержащего компонента, включающего алмазоподобную и графитоподобную фракцию, а также дополнительной обработке фторсодержащими соединениями.

Ключевые слова: фторсодержащие соединения, алмазоподобные покрытия, свойства, инструмент.

1. Введение

Современное машиностроение широко применяет инструмент, на рабочую поверхность которого нанесены композиционные покрытия [1-4]. К числу наиболее распространенных покрытий для металлообрабатывающего инструмента относят нитрид титана TiN, который наносят с помощью плазмохимических технологий. Покрытия из нитрида титана обеспечивают высокую износостойкость инструмента для холодного деформирования металлических заготовок благодаря предотвращению явлений схватывания и задира [1-4]. При нанесении покрытий из нитрида титана на металлорежущий инструмент (сверла, фрезы, метчики, зенкеры и т.п.) эффект резко снижается. Это обусловлено использованием повышенных температур для формирования покрытия из TiN (300-500 °C), которые вызывают снижение твердости инструмента из-за явления отпуска. Кроме того, несепарированная капельная фаза TiN повреждает режущую кромку, вызывая её затупление и снижение режущей способности [1-4].

В связи с этим для обработки различного рода инструмента и деталей трения применяют композиционные многослойные покрытия, слои которых выполняют различные функции – формирующую, противоизносную, антикоррозионную.

Интерес к тонкослойным покрытиям, получаемым по растворным, плазмохимическим методам и позволяющим существенно снизить износ пар трения обусловлен тем, что затраты для приобретения металлообрабатывающего инструмента для промышленных предприятий специализирующихся на обработке черных металлов составляет до 20-25 % всех текущих затрат. Проведен анализ по затратам по приобретению металлообрабатывающего инструмента предприятием, занимающегося производством за три года (рис. 1). Данное предприятие является крупным производителем карданных передач и комплектующих для универсальных шарниров на территории Союзного государства и Таможенного союза. Продукция предприятия при производстве автотракторной техники такими крупными производителями автомобильной и тракторной техники как: КамАЗ, ГАЗ, УралАЗ, МАЗ, МТЗ, БелАЗ и т.д. При производстве универсальных шарниров применяется широкая номенклатура металлообрабатывающего инструмента: шлицевые и круглые протяжки, дисковые и червячные фрезы, резцы из

быстрорежущей стали и с напайными пластинками твердых сплавов, сверла, зенкеры, зенковки, развертки диаметром до 60 мм; метчики и гребенки; протяжки плоские; режущие части, ножи, оправки, раскатки и прошивки (рис. 2).

Применяемый инструмент является дорогостоящим, так как изготавливается из легированных инструментальных сталей и имеет большие геометрические размеры. Для снижения текущих затрат по закупке металлообрабатывающего инструмента на предприятии существует собственное инструментально-механическое производство (ИМП), которое обеспечивает потребности производства инструментом собственного изготовления до 60 %.

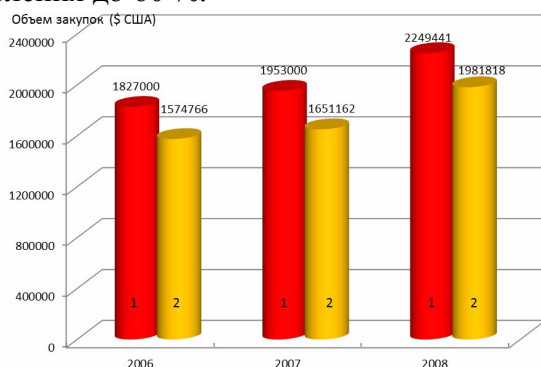


Рис. 1. Текущие затраты предприятия на приобретение металлообрабатывающего инструмента в течение трех лет; 1-затраты на закупку инструмента, 2- объем использованного инструмента в течение года выраженного в денежном эквиваленте

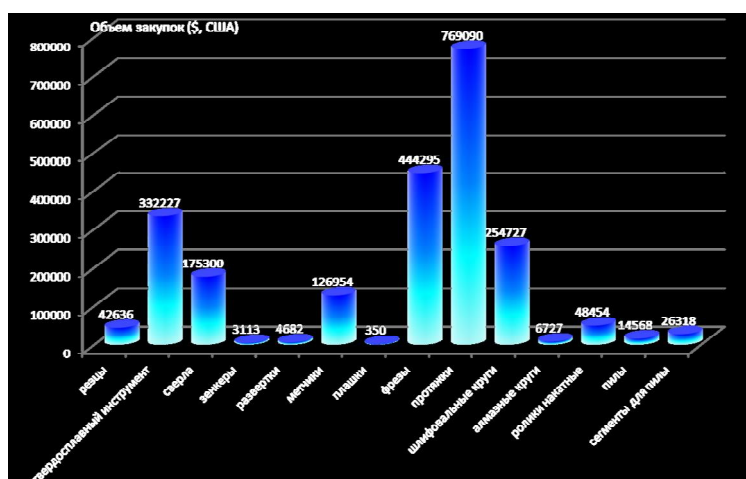


Рис. 2. Номенклатура и объемы закупаемого металлообрабатывающего инструмента выраженного в денежном эквиваленте закупаемого предприятием в течение года

Применение традиционных методов упрочнения (термическая, термомеханическая, химико-термическая обработка) в условиях производства не всегда дает желаемый результат по увеличению стойкости инструмента при эксплуатации. В связи с этим разработка новых антифрикционных покрытий для металлообрабатывающего инструмента является актуальными для промышленных предприятий.

Целью данной работы является исследование эксплуатационных характеристик антифрикционных композиционных покрытий для металлообрабатывающего инструмента.

2. Методика эксперимента

При формировании композиционного материала применяли слои из нитрида титана (TiN), полученные при магнитной сепарации плазменного потока, углеродосодержащие слои с различным содержанием алмазоподобной и графитоподобной фракции, т.н. «алмазоподобные покрытия» (АПП), углеродосодержащие слои, легированные титаном (Ti+C). Слои наносили на режущие кромки сверл из стали Р6М5 с диаметром рабочей части 0,3, 0,5, 0,8, 1,0, 2,0 мм. Для нанесения композиционного материала использовали серийную установку вакуумного напыления УВ НИПА-1-001. Установка содержит газовый ионный источник, с помощью которого осуществляли очистку и нагрев изделий, источник плазмы стационарного катодно-дугового разряда с металлическим (титановым) катодом, источник плазмы импульсного катодно-дугового разряда с катодом из графита. Слой композиционного материала формировали за один цикл нанесения.

Эксплуатационные испытания металлообрабатывающего инструмента с многофункциональным покрытием на базе алмазоподобных и фторсодержащих соединений проводили на стандартном оборудовании, предназначенном для обработки черных и цветных металлов и их сплавов. В данном случае применялся специальный агрегатно-сверлильный станок СТ 2291. Для изготовления отверстий в сплошном материале в качестве объекта обработки применяли деталь карданного вала - фланец-вилку (рис. 3). Данная деталь изготавливалась из стали 40 (ГОСТ 1050-88), твердость по Бринеллю после соответствующих технологических операций составляла от 209-269 НВ. Эксплуатационные режимы обработки изделия задавались следующие: скорость подачи сверла - 0,1 мм/об.; глубина сверления - 4,5 мм; частота вращения шпинделя - 671 об./мин.; скорость резания - 19 м/мин. Для исследований применялись три партии сверл: 1 – инструмент в стадии поставки от производителя (сверла Ø 9 мм, изготовленные из быстрорежущей стали HSS (табл. 1), производитель ЕС (Европейский Союз), 2 – инструмент с композиционным покрытием на базе алмазоподобных соединений, 3 – инструмент с алмазоподобным композиционным покрытием, модифицированным фторсодержащими соединениями по растворной технологии.

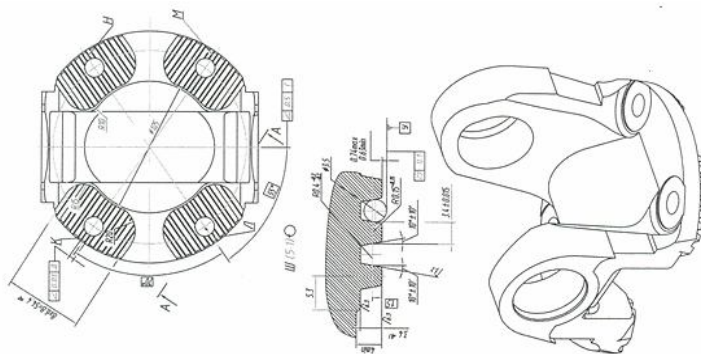


Рис. 3. Фланец-вилка карданной передачи

Таблица 1. Химический состав стали HSS, применяемой для изготовления сверл Ø 9,06,8 мм

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	P	S
0,89	0,44	0,41	4,1	4,85	1,79	6,32	0,028	0,03

3. Основное содержание и результаты работы

Новым направлением в инженерии поверхности является применение многослойных покрытий на основе титансодержащих соединений. Исходя из проведенных исследований, наиболее оптимальна следующая многослойная структура композици-

онных покрытий: внутренний слой выполнен из нитрида титана или титана, а наружный из алмазоподобного продукта, содержащего не более 20 % графитовой фазы, при соотношении титана и углерода в этих слоях, равном стехиометрическому в соединении TiC.

Сопоставительный анализ разработанных составов и аналогов, показывает, что разработанный композиционный материал отличается тем, что он дополнительно включает углеродосодержащий слой с различными модификациями углерода (алмазоподобной и графитоподобной), который в процессе эксплуатации (обработки металлической детали) обеспечивает высокую износостойкость инструмента и качество обрабатываемой поверхности. Дополнительный эффект обеспечивается применением многослойного композиционного материала, в котором сочетание «углеродсодержащий слой-титан» или «углеродсодержащий слой-нитрид титана» повторяется от 1 до 8 раз.

Эффект действия композиционного материала усиливается при соотношении элементов титана и углерода в слоях, равном их стехиометрическому соотношению в соединении карбид титана с формулой TiC (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительные триботехнические свойства материалов для покрытий металлообрабатывающего инструмента

Состав покрытия	Толщина слоя, мкм	Характеристики	
		Коэффициент трения	Интенсивность изнашивания 10^{-11} м ³ /м
Без покрытия	-	0,52	1,40
Нитрид титана TiN (аналог)	1,1	0,59	0,75
Титан + углеродсодержащий алмазоподобный слой (содержание графитовой фазы 20 %) (АПП) (разработанный состав)	0,1+0,2	0,22	0,18
Нитрид титана (подслой АПП+TiN)x4 (разработанный состав)	0,8+(0,05+0,05)x4	0,18	0,2
Нитрид титана (подслой) + (Ti+АПП)x7 (разработанный состав)	0,8+(0,01+0,05)x7	0,36	0,005

Оптимальными характеристиками обладают составы в предложенном соотношении компонентов, которое определяется толщиной слоя, количеством слоев, введением углеродосодержащего слоя с алмазоподобной фракцией при их определенном соотношении Ti/C в материале в целом. Уменьшение содержания графитоподобной фракции в АПП менее заявляемого.

Таким образом, только разработанный состав в данном соотношении компонентов обладает более высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению с прототипом.

Отличительными особенностями разработанного состава от существующих аналогов является:

- использование в качестве функционального модификатора углеродосодержащего компонента, включающего алмазоподобную и графитоподобную фракцию при содержании графитоподобной фракции 10-20 %.

- наличие в материале сочетания титансодержащих и углеродсодержащих компонентов в виде функциональных слоев определенной толщины, при числе сочетаний от 1 до 8.

- стехиометрическое соотношение элементов Ti и C, равное их соотношению в соединении TiC (карбид титана).

Для придания повышенных антифрикционных характеристик инструмент с композиционным алмазоподобным покрытием обрабатывали в 1-3 % растворе фторсодержащего олигомера Ф1 в хладоне-113, с последующей термообработкой при $T=373$ К в течение 60 минут.

Проведенные испытания показали существенное увеличение ресурса металлообрабатывающего инструмента в 2-3 раза при формировании на его поверхности защитных композиционных покрытий на базе алмазоподобных и фторсодержащих соединений (рис. 4).

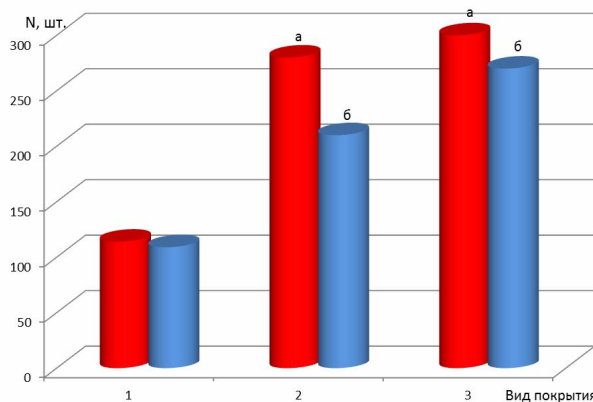


Рис. 4. Зависимость количества сформированных отверстий в фланец-вилках карданного вала от вида покрытия: 1 – инструмент в стадии поставки от производителя (ϕ 9 мм), 2 – инструмент с композиционным покрытием на базе алмазоподобных соединений, 3 – инструмент с алмазоподобным композиционным покрытием, модифицированным фторсодержащими соединениями по растворной технологии. а – стойкость инструмента до первой заточки, б – стойкость инструмента после первой перезаточки.

Возрастание эксплуатационных характеристик обусловлено тем, что на контактной поверхности инструмента сформирован высокопрочный слой с высокой износостойкостью. Обработка фторсодержащими соединениями способствует дальнейшему увеличению количества обработанных деталей. Это обусловлено, скорее всего, формированием устойчивого разделительного антиадгезионного слоя, как на главных рабочих лезвиях, так и на винтовой канавке, предназначенной для отвода стружки из зоны резания. Одним из механизмов увеличения эксплуатационных характеристик инструмента является «залечивание» микродефектов как в самом покрытии, так и граничных слоях субстрата (рис. 5), а также снижением значений поверхностной энергии режущей части инструмента при обработке фторсодержащими олигомерами.

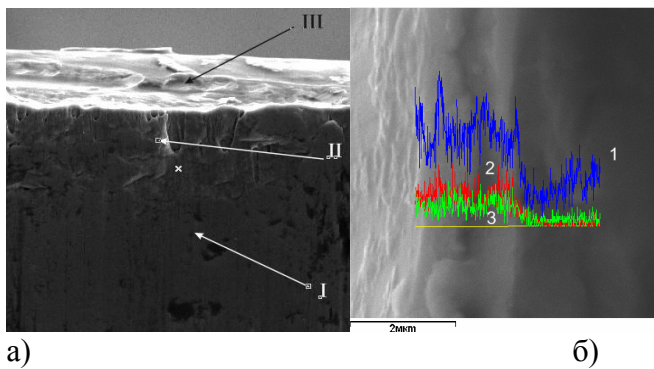


Рис. 5. Структура и морфология покрытий фторсодержащих олигомеров, сформированных на медной подложке (М0, 10-й класс чистоты поверхности. Скол получен в жидком азоте). а) область I - структура медной подложки; область II – проникновения фторсодержащего олигомера в граничный слой медного субстрата, область III – покрытие фторсодержащего олигомера Ф1 (светлая зона); б) распределение химических элементов по толщине покрытия фторсодержащих олигомеров и в граничном слое субстрата: 1-углерод, 2-фтор, 3-кислород. Увеличение $\times 1500$.

Анализ поверхности резания металлообрабатывающего инструмента после потери способности обработки металла режущей кромкой показывает, что основными дефектами являются риски, выкрашивание материала из режущей кромки, питтинг, следы схватывания, микротрещины (рис. 6). Данные дефекты приводят к интенсивному износу инструмента, способствуют образованию макродефектов, существенно изменяют процессы теплопереноса в зоне трения.

Формирование защитных композиционных покрытий на поверхности металлообрабатывающего инструмента приводит к изменению морфологии поверхностных слоев при металлообработке (рис. 6).

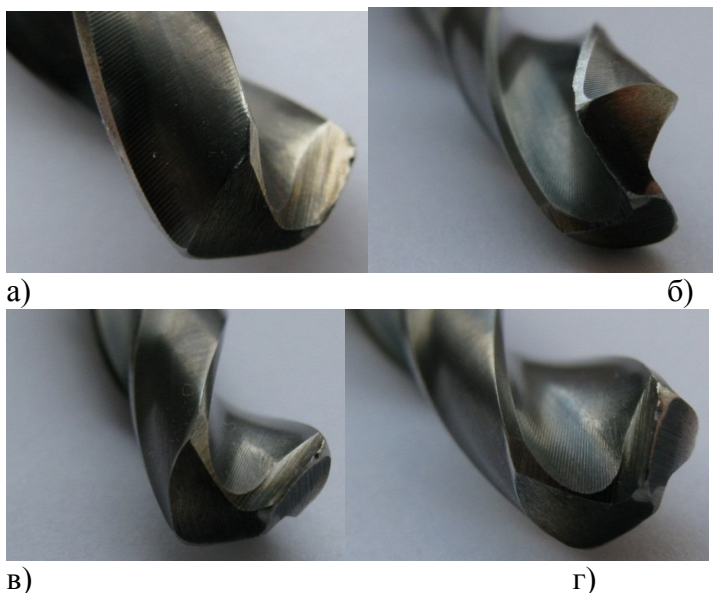
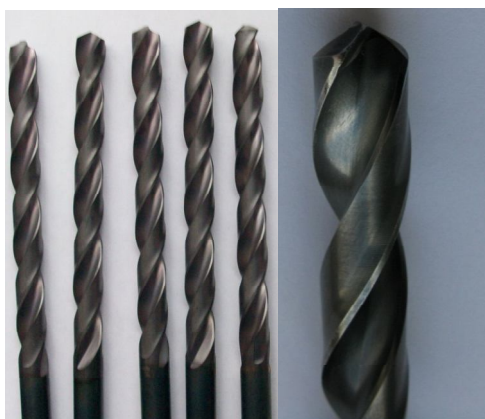


Рис. 6. Основные типы дефектов, появляющихся в инструменте (сверла О 9 мм) при металлообработке: а) риски, б) выкрашивание материала режущей кромки; в) питтинг; г) следы схватывания и образование окалина (нарушение режимов теплопереноса)

После формирования защитных композиционных покрытий на поверхности металлообрабатывающего инструмента отсутствуют дефекты резания, характерные для стандартного инструмента, поверхность режущей кромки сверла сохраняет геометрию, что благоприятно сказывается на эксплуатационных характеристиках (рис. 7).



пластическую деформацию в зоне трения, обеспечивать низкое адгезионное взаимодействие, уменьшать количество «мостиков сварки» и, как следствие, обеспечивать уменьшение схватывания инструмента с металлической заготовкой. Формирование на поверхности режущего инструмента композиционного покрытия на базе алмазоподобных и фторсодержащих соединений способствуют предотвращению вырывания приповерхностных объемов материала и, как следствие, снижению интенсивности изнашивания.

Список литературы:

1. Комплексный анализ триботехнических свойств многослойных сверхтвердых покрытий / Янь Цуань // О природе трения твердых тел: тезисы докладов международного симпозиума, Гомель, 28-30 августа 2002. / ИММС НАНБ. Гомель, 2002. – С. 94–95.
2. Способ нанесения антифрикционного и противоизносного фторсодержащего полимерного покрытия: пат. 6350 Респ. Беларусь, МПК7 B05D 5/08, 1/18 / В.А. Струк [и др.]; заявитель УО ГрГУ им. Янки Купалы - № а 19980761, заявл. 12.08.1998; опубл. 30.09.2004. // «Изобретения. Полезные модели. Промышленные образцы»: Официальный бюллетень национального центра интеллектуальной собственности. – 2004 - № 3 - С. 116-117.
3. Кравченко, В.И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение. / В.И. Кравченко, Г.А. Костюкович, В.А. Струк; под ред. В.А. Струка. – Минск: Техналогія, 2006. – 523 с.
4. Мамончик, А.И. Гидравлические двухтрубные амортизаторы: разборные или закатные. / А.И. Мамончик // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 9. – С. 16–17.

Надійшла до редколегії 24.12.2014.

E.V. Ovchinnikov

ANTIFRICTION COMPOSITE COATING

The paper conducted a study that showed high efficiency composite coatings when processing difficult materials at high cutting speeds. The compositions of composite coatings as a result of test drills have shown high efficiency in the processing of carbon and stainless steels. This effect is achieved by the use of functional modifier as the carbonaceous component comprising a diamond and graphite-fraction, and further treated with fluorine-containing compounds.

Keywords: *fluorine-containing compounds, diamond-like coating properties tool.*

Е. В. Овчинников

АНТИФРИКЦІЙНІ КОМПОЗИЦІЙНІ ПЛАЗМОХІМІЧНИМ ПОКРИТТЯ

У статті проведені дослідження, які показали високу ефективність композиційних покриттів при обробці важкооброблюваних матеріалів на високих швидкостях різання. Розроблені склади композиційних покриттів в результаті випробувань на свердлах показали високу ефективність при обробці вуглецевих, а також корозійностійких сталей. Даний ефект досягається в результаті використання в якості функціонального модифікатора углеродосодержащего компонента, що включає алмазоподібну і графітоподібну фракцію, а також додаткової обробки фторвмісними сполуками.

Ключові слова: *фторвмісні сполуки, алмазоподібні покриття, властивості, інструмент.*