

УДК 674.05.621.9.02

С. И. Карпович, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**С. Д. Латушкина**, кандидат технических наук, заведующая лабораторией (ФТИ НАН Беларуси);**С. С. Карпович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой (БНТУ);**Ю. Пискунова**, инженер (БГТУ)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕРЕВОРЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ

Износостойкость деревообрабатывающего инструмента рассмотрена с позиции современных технологий нанесения упрочняющих пленочных покрытий. Производственные испытания показали увеличение стойкости ножей рубильных машин для заготовки топливной щепы с однослойным покрытием TiN в 1,4 раза. В качестве материала для изготовления ножей применялась низколегированная инструментальная сталь 9ХФ. Перспективность дальнейшего увеличения стойкости деревоорежущего инструмента связывают с разработкой технологий нанесения многослойных покрытий с функциональным разделением их по свойствам: теплопроводность, твердость, коррозионная стойкость – антифрикционное покрытие.

Wear resistance of woodworking tools are considered from the perspective of contemporary technologies for applying reinforcing films. Industrial tests showed an increase in resistance knife chippers for extraction of fuel wood chips with a single layer of TiN coating in 1.4 times. A material for the manufacture of knives was used low-alloy tool steel 61XX. Prospects of further increases in resistance woodworking tools associated with the development of technologies for applying multiple coatings to the functional division of their properties – thermal conductivity, hardness, resistance to corrosion – anti-friction coating.

Введение. Обобщающим показателем эффективности инструмента является его стойкость. На этот показатель влияют многие параметры, но основные служебные свойства инструмента зависят от инструментального материала. На практике конкретизируют материал инструмента – стальной, алмазный, твердосплавной, из быстрорежущей стали, из сверхтвердых материалов. Инструментальный материал должен обладать комплексом показателей, в том числе механическими, физическими, химическими, технологическими. Наиболее важными из них являются твердость, теплостойкость, механические показатели, теплопроводность, антифрикционные свойства, паяемость, шлифуемость и др. Совокупность этих показателей, и в первую очередь в сочетании с твердостью, определяют основной производственный показатель эффективности инструмента – его стойкость.

Основная часть. По конструкции лезвийный режущий инструмент делят на цельный и сборный. Цельный инструмент обладает хорошей жесткостью, но экономически оправданным такое техническое решение является при невысокой стоимости инструментального материала.

Сборный инструмент более сложный в технологическом плане, но позволяет минимизировать объемы дорогого инструментального материала.

Цельный инструмент при нанесении упрочняющих покрытий не позволяет рационально использовать рабочий объем камеры. Пленочное покрытие наносится не только на режущую зону инструмента, но и на всю поверхность. Съёмные

режущие элементы позволяют повысить эффективность технологии нанесения упрочняющих покрытий при изготовлении инструмента.

Предложена конструкция режущего элемента с радиусной режущей кромкой [1]. Режущий элемент представляет собой ступенчатую втулку с лезвием на торце и полым цилиндрическим хвостовиком, с помощью которого фиксируется в корпусе инструмента.

Криволинейное, радиусное лезвие не имеет вершины, углы в плане переменные, по мере приближения к обработанной поверхности уменьшаются и на максимальном удалении от корпуса становятся равными нулю. Это уменьшает кинематическую неравномерность на обработанной поверхности, отсутствие вершины у радиусного элемента делает более прочной режущую кромку, обеспечивается лучший теплоотвод из зоны резания.

Недостатком режущих элементов с профильным лезвием является увеличение длины дуги контакта режущей кромки с обрабатываемым материалом и более сложная схема заточки. Режущие элементы с радиусной режущей кромкой принципиально могут затачиваться как по передней, так и по задней поверхностям. Заточка по задней поверхности осуществляется по схеме цилиндрического шлифования при придании режущему цилиндрическому элементу вращательного движения. При заточке по задней цилиндрической поверхности режущего элемента его диаметр будет уменьшаться.

Заточка по передней поверхности не изменяет диаметр режущего элемента, а следова-

тельно, и обрабатываемый профиль. В этом случае нанесение упрочняющего слоя осуществляется по задней поверхности и он сохраняется на все время эксплуатации инструмента.

Путь повышения твердости режущей зоны лезвийного инструмента нанесением пленочных соединений металлов переходной группы – оксидов, карбидов, нитридов, оксинитридов, оксикарбонитридов, карбонитридов, оксикарбидов и других на уровне современных технологий является весьма перспективным. Дереворежущий инструмент в этом плане не является исключением, для получения максимального эффекта необходимо только учитывать специфику как обрабатываемого материала, так и режимов его эксплуатации.

Прогресс в области получения новых материалов с высокой твердостью, износо- и коррозионной стойкостью на основе наноматериалов может быть реализован в инструментальном материаловедении. Способ вакуумно-дугового осаждения позволяет получать нанокристаллические покрытия из тугоплавких соединений с мелким зерном [2].

В настоящее время используют два механизма ограничения роста кристаллитов в покрытиях: введение в состав растущего конденсата легирующих элементов и формирование многослойных двухфазных наноструктур.

Способ управления размерами кристаллитов в направлении роста покрытия, основанный на осаждении индивидуальных тонких слоев тугоплавких соединений переходных металлов из сепарированных плазменных потоков и периодической бомбардировкой сформированных конденсатов потоком ионов, характеризуется широкими возможностями.

Технология была реализована при изготовлении образцов из стали 9ХФ на установке УРМЗ.279.048, оснащенной криволинейным плазмооптическим сепаратором, позволяющим разделить в магнитном поле капельную и заряженную компоненты плазменного потока, генерируемого электродуговым испарителем. Подслой титана толщиной 0,9–1,0 мкм наносили из сепарированного плазменного потока (материал катода – титан ВТ1-00). После этого осуществляли ионную бомбардировку подслоя ионами титана с энергией 1–3 КэВ из сепарированного плазменного потока до уменьшения толщины на 0,1–0,2 мкм, что составляло 10–20% толщины подслоя титана. Затем плавно снижали энергию ионов и одновременно осуществляли осаждение слоя нитрида титана из несепарированного плазменного потока при парциальном давлении азота $3 \cdot 10^{-2}$ Па.

Ионная бомбардировка поверхности подложки на этапе ее ионной очистки характеризуется одновременным протеканием следующих процессов: внедрением ионов в подложку, распылением поверхности подложки и конденсацией покрытия.

Сформированные слои имеют аморфную и кристаллическую составляющие в своем составе. Использование периодической ионной бомбардировки осаждаемых слоев влияет на рост столбчатых кристаллитов в структуре покрытия и тем самым способствует уменьшению размера зерна. При этом объемная доля границ раздела (границ зерен и тройных стыков) значительно возрастает, оказывая существенное влияние на физико-механические и эксплуатационные свойства покрытий.

Микротвердость соединений титана изменяется в следующей последовательности: TiO_2 – 16 ГПа, TiN – 20,5 ГПа, TiC – 31,7 ГПа. Твердость ножей рубильных машин разных производителей (партии в количестве 10 шт.) находится в пределах $HRC = 57–60$, $HRC = 54–56$, опытная партия ножей, изготовленных с покрытием TiN , имела твердость $HRC = 56–58$.

Характерной особенностью сталей, применяемых для изготовления ножей различными производителями, является наличие в них хрома в количестве до 8%, молибдена, силиция, ванадия. Для изготовления опытных ножей по химическому составу соответствуют отечественные инструментальные стали Х6ВФ, 9ХФ, 9ХС, 50ХГ.

Опытная партия ножей рубильных машин прошла производственные испытания в Вилейском опытном лесхозе. Стойкость инструмента на 40% была выше по сравнению с серийными ножами.

Важным показателем инструментальных материалов является их химстойкость [2]. Химическая составляющая на износ дереворежущего инструмента изучена недостаточно полно.

В результате термомеханической деструкции длинных полимерных цепочек молекул веществ, входящих в состав древесины, возникают свободные радикалы – обрывки молекул, обладающие способностью вступать во взаимодействие с металлом. Наиболее вероятным является образование из лигнина ароксиллов. Именно благодаря взаимодействию металла со свободными радикалами в продуктах износа полимера при трении обнаруживаются органические соединения, содержащие металл.

Перспективным классом коррозионностойких материалов является бескислородные тугоплавкие соединения титана и сплавы на их основе. С целью определения оптимального фазового состава и структуры покрытия, обеспечи-

вающих высокие защитные свойства, исследовалось электрохимическое поведение покрытий из карбонитрида титана в 3%-ном растворе NaCl.

Для покрытий, приближающихся по составу к стехиометрическому TiN, характерны наибольшая продолжительность нахождения системы в пассивном состоянии и малые величины плотности анодного тока растворения, что свидетельствует о более высоких защитных свойствах.

По величине стационарного электродного потенциала, плотности тока, коррозии, а также по протяженности области пассивации исследуемые материалы покрытия можно расположить в ряд коррозионной стойкости: TiN > TiNC > TiC.

В балансе силы резания фрикционная составляющая в зоне контакта инструмент – обрабатываемый материал существенная. Коэффициенты трения определялись по схеме «частичный вкладыш – вал». Преимущество такой схемы состоит в том, что она близка к реальной паре контакта режущий элемент – древесина.

При испытаниях антифрикционных свойств древесины учитывались три основных направления скорости скольжения относительно волокон – торцовое, поперечное и продольное, что соответствует основным схемам резания древесины – продольному и поперечному раскрою.

Образцы изготавливались из древесины березы. Величина коэффициента трения определялась в зависимости от двух факторов – нагрузки и скорости скольжения. Кроме коэффициента трения, с помощью хромель-алюмелевой микротермопары измерялась температура в зоне трения (на расстоянии 0,5 мм от плоскости трения).

Коэффициент трения пары древесины – упороченный слой в зависимости от режимов испытаний изменяется в очень широких пределах: $f = 0,10-1,25$. Наилучшие антифрикционные показатели имеет образец с торцевым направлением волокон. При малых скоростях скольжения 0,2–0,6 м/с их нагрузочная способность превышает 2,5 МПа при относительно низком коэффициенте трения – около 0,3.

С увеличением скорости скольжения до 0,8–1,2 м/с, крутизна линий на графике увеличивается. При скорости скольжения 1,2 м/с нагрузочная способность пары трения снижается. Дальнейшее увеличение скорости скольжения до 1,4 м/с приводит к нагреву зоны контакта до недопустимых пределов.

При поперечном направлении антифрикционные параметры трущейся пары значительно хуже – коэффициент трения не опускается ниже $f = 0,85$. Такой высокий коэффициент трения способствует быстрому росту температуры в зоне трения и прекращению опыта.

Низкая нагрузочная способность и низкая допустимая скорость характеризуют также и пару трения в продольном направлении волокон.

Как известно, уже при температурах 100–120°C начинается процесс термического разложения древесины. Он сопровождается образованием смолоподобных продуктов, являющихся при невысоких температурах смазками, что снижает коэффициенты трения. В случае торцового трения тепло быстрее отводится вдоль волокон древесины. Отвод тепла в случае поперечного и продольного направлений затруднителен, так как теплопроводность древесины в этих направлениях значительно ниже. Дальнейший рост температуры приводит к термической деструкции древесины и образованию мостиков схватывания в зоне контакта древесина – металл. Снятие достоверных показателей становилось невозможным, и опыты в этом случае прекращались.

Стабильность работы пары трения древесина – металл целесообразно определять температурным полем в зоне контакта, и температура не должна превышать 80–100°C.

Заключение. Технология нанесения пленочных упрочняющих покрытий является перспективной для увеличения стойкости дереворежущего инструмента. Производственные испытания показали, что однослойные покрытия из нитрида титана увеличивают стойкость инструмента на 40%. Наибольший технический и экономический эффект следует ожидать при разработке технологии нанесения многослойных, комбинированных покрытий на дереворежущий инструмент из низколегированных хромистых сталей. Каждый слой покрытия должен выполнять определенное функциональное назначение в следующей последовательности: подложка (инструментальная сталь), слой с высокой теплопроводностью (эталон Cu), твердый слой (эталон КНБ), антикоррозионный слой (эталон Cr₂O₃, TiN), антифрикционный слой (эталон MoS₂).

Литература

1. Резец с радиусной режущей кромкой: пат. 6527 Респ. Беларусь, МПК (2009) B23 B27/00 / С. С. Карпович, Ю. А. Андросюк, О. Ю. Пискунова, С. И. Карпович; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № u 20100107 от 04.02.2010.

2. Латушкина, С. Д. Структурные особенности и защитные свойства титановых покрытий, осажденных в вакууме из сепарированных потоков электродуговой плазмы / С. Д. Латушкина, В. А. Агеев, А. К. Вершина // Теория и практика машиностроения. – 2003. – № 2. – С. 9–12.

Поступила 15.03.2011