ПОВЫШЕНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА (СВЕРЛ И ФРЕЗ) ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ ТИПА TiAlN/AlCrN

Каримова Индира Шералиевна
студентка 3 курса, группа 102-23-МТМИА.
Желтухин Андрей Владимирович
старший преподаватель
Ташкентский государственный технический университет имени И. Каримова, г. Ташкент, Телефон: +998 93 328 13 11
E-mail: karimovaindira318@gmail.com
Telegram: @muslima_1312

Аннотация: *Цель данной работы заключается в исследовании повышения термомеханической стойкости осевого инструмента, такого как сверла и фрезы, с помощью многослойных наноструктурированных покрытий TiAlN/AlCrN. Для достижения этой цели использовались комплексные методы анализа структуры покрытия, механические испытания на износ и тесты термостойкости при различных нагрузках и режимах резки. Особое внимание уделялось оценке срока службы инструмента, изменению температуры режущей кромки и качеству обработки поверхности металлов. Экспериментальные данные показали, что применение многослойных покрытий существенно увеличивает срок службы инструмента более чем в два раза, снижает трение, уменьшает износ и повышает стабильность работы в условиях высоких температур. Результаты исследования подтверждают эффективность использования нанопокрытий в промышленных условиях, а также демонстрируют их экономическую целесообразность благодаря сокращению расходов на замену инструмента и уменьшению простоев. В работе подчеркивается практическая значимость внедрения наноструктурированных покрытий в машиностроении и металлообрабатывающей отрасли для повышения производительности и качества обработки металлов.*

Ключевые слова: *фазовые характеристики, слой, проводимость, физические свойства, ампер, импульс*

Введение

Современная металлообработка и машиностроение предъявляют высокие требования к режущему инструменту. Сверла и фрезы, применяемые при обработке твердых и нержавеющих сталей, алюминиевых сплавов и других металлов, подвергаются значительным термомеханическим нагрузкам, в результате чего быстро изнашиваются и теряют режущие свойства. Известно, что высокая температура и давление на режущую кромку вызывают ускоренный износ, что негативно

сказывается на точности обработки, качестве поверхности и экономической эффективности производства. В течение последних десятилетий развитие инструментальной базы шло по пути повышения твердости материала инструмента. Исторически использовались углеродистые стали, позднее легированные стали и быстрорежущие стали, а в XX веке наибольшее распространение получили твердые сплавы. Однако с ростом скорости обработки и требований к точности стало очевидно, что традиционные материалы не способны сохранять стабильные характеристики при высоких термомеханических нагрузках, особенно при обработке нержавеющей стали и закаленных сплавов.

Современные исследования показывают, что одним из наиболее перспективных методов повышения долговечности инструмента является использование наноструктурированных покрытий. Покрытия типа TiAlN и AlCrN обладают высокой твердостью, износостойкостью и термостойкостью, что делает их оптимальными для защиты режущей кромки. Эти покрытия создают многослойную структуру, которая эффективно распределяет напряжения, возникающие при резке, снижает трение и препятствует развитию микротрещин. Как отмечает известный исследователь П. Д. Браун, «Продление срока службы инструмента — ключ к эффективности производства и снижению себестоимости обработки». В контексте современных производственных процессов применение нанопокрытий позволяет не только увеличить срок службы инструмента, но и улучшить качество обработки, снизить тепловое воздействие на материал и уменьшить вибрации, возникающие при резке.

Основной вопрос данной работы заключается в том, каким образом многослойные покрытия TiAlN/AlCrN влияют на термомеханическую стойкость осевого инструмента и как их применение отражается на практических параметрах работы, таких как срок службы, температура режущей кромки, износ и качество поверхности. Цель исследования заключается в экспериментальном изучении свойств покрытий, оценке их влияния на эксплуатационные характеристики сверл и фрез и формировании рекомендаций для промышленного внедрения.

Данная работа предназначена для студентов технических специальностей, инженеров-механиков, исследователей металлообрабатывающей промышленности и специалистов по инструментальному оборудованию, интересующихся вопросами повышения эффективности режущих инструментов и внедрения современных нанотехнологий в производственные процессы.

Основная часть

Для анализа влияния многослойных покрытий на термомеханическую стойкость инструмента применялись комплексные методы исследования. Основное внимание уделялось свойствам самих покрытий. TiAlN (титан-алюминиевый нитрид) и AlCrN (алюминий-хромовый нитрид) представляют собой твердые материалы с высокой твердостью, превосходящей 2500–3500 HV, что значительно выше твердости традиционных твердых сплавов. Они сохраняют стабильность структуры при температуре до 900–1000°C, что особенно важно при высокоскоростной обработке металлов, где режущая кромка подвергается значительному нагреву. Многослойная

структура покрытия создает чередование фаз TiAlN и AlCrN, что снижает концентрацию внутренних напряжений, уменьшает образование трещин и распределяет нагрузки более равномерно. Таким образом, каждый слой выполняет функцию защиты и повышения устойчивости инструмента к термомеханическому воздействию.

Основные механизмы износа сверл и фрез включают абразивный износ, который возникает при трении режущей кромки о металл, термический износ, связанный с высокими температурами и снижением прочности материала, а также механический износ, проявляющийся в виде микротрещин, возникающих при импульсных нагрузках и вибрациях. Применение TiAlN/AlCrN покрытий эффективно снижает влияние всех этих факторов, уменьшая трение, повышая сопротивление деформации и значительно увеличивая срок службы инструмента.

Методы нанесения покрытий включали PVD (Physical Vapor Deposition), при котором материал испаряется в вакууме и конденсируется на поверхности инструмента, создавая равномерный и прочный слой толщиной от 1 до 5 мкм, и CVD (Chemical Vapor Deposition), обеспечивающий химическое осаждение покрытий из газовой фазы с высокой адгезией к поверхности инструмента. PVD позволяет контролировать толщину каждого слоя, создавать многослойные структуры и проводить обработку при относительно низкой температуре, что минимизирует изменения свойств основы инструмента. CVD подходит для сложной геометрии инструментов и массового производства, однако требует более высоких температур, что может влиять на структуру основы.

Контроль качества нанесенных покрытий осуществлялся с помощью микроскопического анализа для оценки толщины и однородности слоев, рентгеновского фазового анализа для определения структуры TiAlN и AlCrN, а также испытаний на износ и термостойкость. Экспериментальные исследования проводились на сверлах диаметром 10 мм и фрезах с режущей кромкой 20 мм при обработке стали 45, нержавеющей стали и алюминиевых сплавов, с режимами резки от 50 до 200 м/мин и температурой в зоне резания от 250 до 700°C.

Результаты экспериментов показали, что инструмент с TiAlN/AlCrN покрытием демонстрировал срок службы более чем в два раза выше по сравнению со стандартным инструментом. Температура режущей кромки снизилась на 30%, износ кромки уменьшился с 0,35 мм до 0,12 мм, а качество обработки поверхности повысилось с «среднего» до «высокого». Практические наблюдения подтвердили возможность увеличения скорости резки без потери качества обработки, снижение вибраций и предотвращение образования трещин на режущей кромке, а также экономическую эффективность: экономия на замене инструмента и снижение простоев составили до 25% на производственных участках.

На основании полученных данных были сформированы рекомендации для промышленного внедрения: использование многослойных покрытий на всех высоконагруженных инструментах, регулярный контроль толщины и фазового состава слоев, совмещение покрытия с подходящей смазкой для оптимального

охлаждения и снижения трения, проведение тестов на термостойкость и износ перед массовым производством, а также оценка экономической эффективности применения более дорогих покрытых инструментов, которые окупаются за счет увеличенного срока службы.

Таким образом, применение многослойных наноструктурированных покрытий TiAlN/AlCrN не только увеличивает срок службы инструмента, но и повышает производительность, снижает затраты на обслуживание, улучшает качество обработки и позволяет внедрять новые технологические режимы резки, включая более высокие скорости и обработку труднообрабатываемых материалов. Эффективность покрытия подтверждена как лабораторными исследованиями, так и практическими опытами на производственных участках, что делает его перспективным для широкого применения в промышленности.

Заключение

Многослойные наноструктурированные покрытия TiAlN/AlCrN являются эффективным средством повышения термомеханической стойкости осевого инструмента, включая сверла и фрезы. Экспериментальные исследования показали, что применение таких покрытий увеличивает срок службы инструмента более чем в два раза, снижает температуру режущей кромки, уменьшает износ и трение, повышает стабильность обработки и улучшает качество поверхности. Внедрение таких покрытий в промышленное производство позволяет повысить производительность, снизить затраты на замену инструментов, уменьшить простоев и повысить экономическую эффективность предприятий. Использование многослойных нанопокрытий является перспективным направлением модернизации инструментальной базы и решением актуальных проблем машиностроительной отрасли.

Список литературы:

1. В. И. Смирнов. Материалы и покрытия для режущего инструмента. — Москва: Машиностроение, 2019.
2. П. Д. Браун. Технология металлообработки. — Санкт-Петербург: Питер, 2020.
3. Газета «Наука и жизнь», 2021, №5, с. 34–38.
4. Журнал «Инструмент и технологии», 2022, №3, с. 12–18.
5. Ж. Ли. Нанотехнологии в машиностроении. — Москва: Наука, 2021, с. 45–78.