

Рисунок 5 – График изменения предела упругости (разрыв)

Проанализировав данные исследования, можно сделать заключение о том, что влияние температурных режимов печати на прочность изделий имеет не линейный характер, графическая зависимость имеет выраженный экстремум.

Заключение. Опытным путём доказано, что шестигранное заполнение или «Соты», позволит сэкономить энергию, время и материал, а также обеспечит высокую прочность изделия.

Также из вышесказанного следует, что нет необходимости в печати при критических температурах, а лучше всего применять усреднённые рекомендуемые температурные режимы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пластики для печати, всё что нужно знать о материалах // Всё для 3D-принтеров [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/raznovidnosti-plastikov-3D-pechati/>. – Дата доступа: 21.02.2021.
2. Ермаков, А. И. Утилизация тары и упаковки: учеб.-метод. пособие / А. И. Ермаков. – Минск : БНТУ, 2017. – 194 с.
3. Ермаков, А.И. Применение 3D-печати в кондитерском производстве / А.И. Ермаков, С.В. Чайко / НАУКА – ОБРАЗОВАНИЮ, ПРОИЗВОДСТВУ, ЭКОНОМИКЕ: Материалы 15-й Международной научно-технической конференции (70-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ) в 4 томах, Минск, май 2017г. / БНТУ. – Минск, 2017. – Том 4 – С.503
4. Ермаков, А.И. Разработка 3d- принтера для образовательных учреждений / А.И. Ермаков, В.В. Книга, Е.П. Мелешеня, А.А. Третьякова // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей III международной научно-практической конференции, Минск, 23–24 марта 2017 г. / БГАТУ; редкол.: В.Я. Груданов [и др.]. – Минск, 2017. – С. 426–428.
5. Савченя, А. А. Исследование влияния технологических параметров 3D-печати PLA пластиком на механические характеристики изделий / А. А. Савченя, А. И. Ермаков // Мировая экономика и бизнес-администрирование малых и средних предприятий : материалы 16-го Международного научного семинара, проводимого в рамках 18-ой Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» 26 марта 2020 года, Минск, Республика Беларусь. – Минск : Право и экономика, 2020. – С. 231-232.

УДК 621.793

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

доктор техн. наук **Н. М. Чигринова**, студентка гр. 10505117 **А. И. Кащенко**,
ФММП БНТУ, г. Минск

Резюме - в статье проанализированы особенности существующих технологий повышения износостойкости режущих поверхностей.

Ключевые слова: износ, металлообрабатывающий инструмент, осаждение из газовой фазы, защитные покрытия.

Введение. В современном машиностроении для изготовления множества изделий применяется механическая обработка их поверхностей, в процессе которой возникает ряд факторов, существенно влияющих на работоспособность и долговечность режущего инструментария и, следовательно, на качество обрабатываемой поверхности: высокая температура в зоне контакта рабочего инструмента и заготовки, высокие твердость и прочность и низкая теплопроводность труднообрабатываемых материалов, большая химическая активность материалов изделия и инструмента и др. Минимизация перечисленных воздействий, как правило, обусловлена применением различных приемов, среди которых наиболее эффективными и экономичными являются износостойкие покрытия. Выбор и оптимизация методов создания таких покрытий, позволяющих продлить сроки безремонтной эксплуатации инструмента, обеспечив его требуемое качество и служебные характеристики, а

также сократить расходы на ремонт изношенного и приобретение нового инструмента является задачей актуальной и практически значимой.

Основная часть. К дефектам инструмента приводят действующие на него нагрузки, которые делятся на четыре категории [1]: механические, термические, химические и трибологические, разрушительные результаты воздействия которых видны на рис. 1.

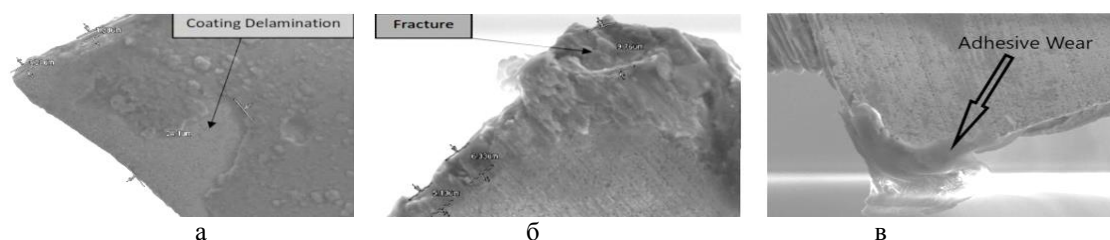


Рисунок 1 – Дефекты режущих кромок инструмента: а) детальный вид отслоения покрытия; б) излом на кромке инструмента; в) изображение адгезионного износа [1]

Устранение или минимизация указанных дефектов реализуется посредством поверхностной обработки режущих поверхностей, возможные варианты которой в количественном соотношении по их применению приведены на рис.2.

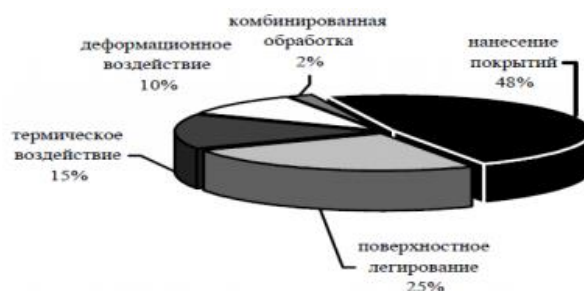


Рисунок 2 – Количественное соотношение методов поверхностной упрочняющей обработки

Из диаграммы можно сделать вывод, что в современной промышленности чаще всего в качестве защиты лезвийного инструмента применяют технологии формирования функциональных покрытий. Выбор метода зависит от необходимого результата, применяемого оборудования, используемых материалов, особенностей технологического процесса [2,3]

К весьма распространенным процессам нанесения покрытия на инструмент относятся методы физического PVD и химического CVD осаждения из газовой фазы и их комбинации. Различие этих технологий заключается в том, что при CVD-методе формирование защитного слоя происходит в результате химической реакции прекурсоров на металлической основе, а при PVD-методе – без химических реакций [4]. Методы CVD классифицируются по давлению (рис.3, а), температуре (рис. 3,б), по физическим характеристикам (рис. 3,в):

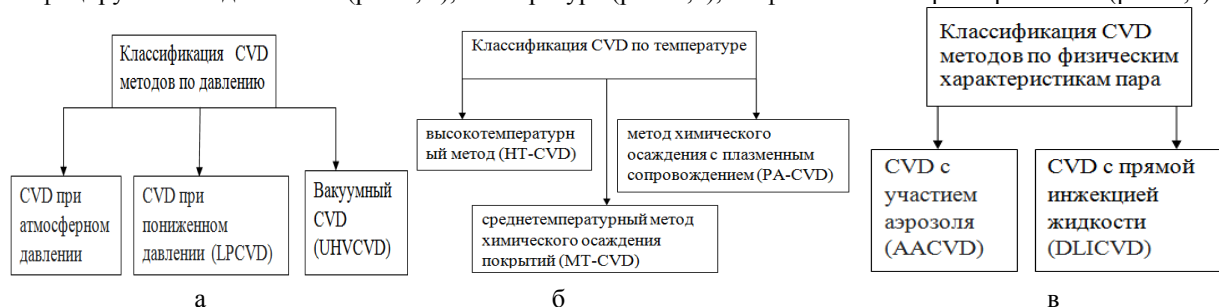


Рисунок 3 – Классификация CVD методов [4]

Из представленного рис.3 видно, что химическое осаждение из газовой фазы (CVD) может происходить при атмосферном и пониженном давлении (меньше 10^{-2} бар) либо при условиях высокого вакуума (10^{-5} и более бар). Пониженное давление снижает риски нежелательных реакций в газовой фазе и создаёт условия для более равномерного осаждения защитного покрытия на подложку. Температуры, при которых формируется покрытия методами HT-CVD, могут достигать 1600°C . Разработаны методы CVD, которые протекают при более низкой температуре: MT-CVD – около 800°C ; PA-CVD – $550...650^{\circ}\text{C}$. Для данных методов характерна высокая скорость осаждения покрытия ($5...8$ мкм/ч). Данными методами наносятся не только однослойные, но и многослойные покрытия, толщиной до $6...15$ мкм.

Плазменное CVD позволяет снизить температуру процесса, т.к. плазма создаёт каталитическое воздействие, концентрируя энергию в рабочей зоне. При такой обработке вязкость в границе между наносимым сплавом и покрытием не снижается, позволяя обеспечить хорошую адгезионную связь формируемого покрытия с

металлической основой [2]. Кроме того, не нужно создавать специальную ориентацию в пространстве детали, для обеспечения равномерности покрытия.

Классификация плазменных и иных методов CVD представлена на рис.4.



Рисунок 4 – Классификация методов CVD

Методами CVD создаются высокотвердые соединения на основе карбидов, карбонитридов, нитридов, боридов. Способ также применим для тугоплавких металлов TiN, TiC, Al₂O₃, ZrN, TiCN и др., обладающие хорошей износостойкостью [5] (рис.5).

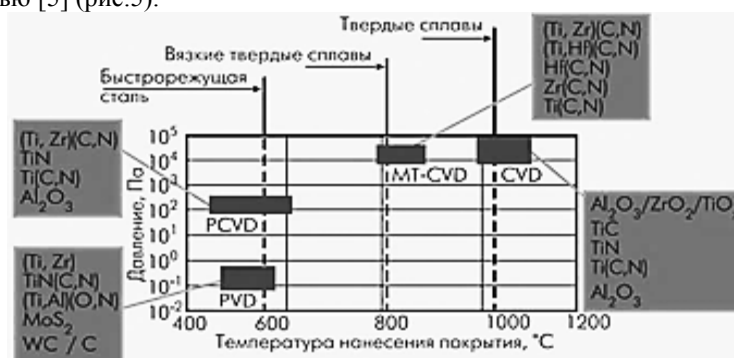


Рисунок 5 – Рабочие параметры CVD и PVD

При физическом осаждении (PVD) твердый материал переходит в газовую фазу за счёт испарения под действием тепла или распыления, благодаря энергии столкновения частиц материала [4]. Плотность потока, а также распределение частиц варьируются в зависимости от особенностей применяемого метода, условий реакции и формы источника частиц. Для процессов PVD характерна температура до 450°C. Использование PVD технологий позволяет в качестве подложек применять материалы с относительно низкой температурой плавления. Для быстрорежущей стали это особенно актуально, так как температура отпуска стали около 550°C [6]. Процессы PVD осуществляются в вакууме, либо при низком давлении (около 10⁻² мБар). Что способствует переносу частиц от источника к подложке. Для физического осаждения прямой поток частиц обязателен. Поэтому покрытие осаждается на часть изделия, повернутую к источнику. Эта особенность позволяет создать селективное покрытие на инструменте. Равномерное покрытие можно создать только при особом движении изделия, либо при использовании нескольких источников частиц.

Основные методы PVD представлены на рис.6.



Рисунок 6 – Классификация методов PVD

Осаждаются, как правило, тугоплавкие металлы (Ti, Zr, Cr, Mo, Al и другие), реакционными газами являются – азот, метан, кислород. Покрытия получаются в виде нитридов, карбидов, карбонитридов или оксикарбидов тугоплавких металлов.

Сравнительные данные по режимным параметрам CVD и PVD процессов представлены на рис.7.

Параметры технологии	PVD	CVD
Давление	< 10 ² Па	> 10 ² Па
Температура основы	< 500 °С	> 500 °С
Скорость осаждения	Высокая	Низкая
Структура	Аморфная – тонкокристаллическая	Кристаллическая с гранями
Сцепляемость	Труднее	Легче
Поры/трещины	Редко	Возможны
Параметры производства		
Размер партии	Маленький	Большой
Требования к оборудованию	Высокие	Низкие
Стоимость/шт.	Высокая	Низкая

Рисунок 7 – Сравнительные характеристики методов осаждения покрытий

Заключение. В работе обоснована целесообразность создания защитных покрытий на рабочих поверхностях лезвийного инструмента. Рассмотрены и систематизированы высокоэнергетические методы получения таких покрытий с применением технологий CVD, используемых для нанесения на твердосплавные, тугоплавкие подложки, и PVD–для упрочнения сталей и других инструментальных материалов. Отмечено, что конкретный метод повышения износостойкости режущих кромок инструмента подбирается с учётом условий его эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Святкин А. В., Солдаткин С. А., Болдырев Д. А. Причины катастрофического износа лезвийного металлорежущего инструмента ТГУ, г. Тольятти, Россия, 2010. – 64-68с.
2. Грубый С. В. Разработка методологии управления режимными параметрами и процессом изнашивания инструментов как основы повышения эффективности лезвийной обработки: дис. докт. техн. наук / С.В. Грубый. –2004. - 536 с.
3. Kahlon C.S. Koenigsberger. Electric Spark toughening of cutting tools and steel components / C.S. Kahlon., H.J Baker, C.F. Noble // Int.J.Mach.Tool. Des.Res. – Great Britain, 1958 – Vol. 10. – 95–121p.
4. Tool Wear Analysis of Micro End Mills - Uncoated and PVD Coated TiAlN AlTiN in High Speed Micro Milling of Titanium Alloy - Ti-0.3Mo-0.8Ni / Bandapalli, C. [et al.]. - 626–629p.
5. А.А. Кужненко. Разработка оксидно-нитридных многослойных покрытий для режущего твердосплавного инструмента: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.06 / А.А. Кужненко; Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – Москва 2016.
6. Паустовский, А.В. Морфология и твердость поверхностного слоя стали после ЭИЛ сплавами TiN-Ni /А. В. Паустовский, В. И. Новикова, Н. П. Мордовец. // Порошковая металлургия. – 2002. – № 1-2. – 26-30с.

УДК 621.793.79

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ЭИЛ С УЗВ ПОКРЫТИЙ УВЕЛИЧЕННОЙ ТОЛЩИНЫ И СПЛОШНОСТИ

доктор техн. наук, профессор Н. М. Чигринова, БНТУ, г. Минск, С. И. Ловыгин, ОХП ИСЗП ГНУ «Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа», г. Минск

Резюме - в статье приведены результаты исследования комплексного влияния параметров интегральной обработки, включающей электроискровое легирование материала с последующим ультразвуковым воздействием, на динамику роста покрытия и его структуру.

Ключевые слова: интегральный метод, оплавление, ультразвук, привес, структура.

Введение. Одним из эффективных приемов повышения износостойкости металлических объектов является нанесение на их рабочие поверхности функциональных покрытий. Существенная роль в этом технологическом сегменте отводится методу электроискрового легирования (ЭИЛ). Однако при многих положительных аспектах – вариабельность составов формируемых покрытий, определяющая свойства защищаемой поверхности, высокая адгезия с основой в методе есть и существенные недостатки, сужающие область его использования. Это высокий уровень напряженности структуры покрытия, его малая сплошность и неравнотолщинность, низкое качество, ограниченная толщина (до 300 – 500 мкм) [1,2].

Проблемные вопросы в использовании указанной технологии, в частности, снижение напряженности в структуре покрытия, улучшение его качества и обеспечение равнотолщинности были решены за счет использования ультразвуковой активации материала покрытия [3].

Основная часть. Применение ультразвуковой активации поверхности анода и катода способствует интенсификации диффузионных потоков, уплотняет поверхность подложки, на которой при ультразвуковом легировании формируется более равнотолщинный и однородный слой покрытия [4].

При проведении экспериментов использовали модернизированное оборудование – установку для электроискровой обработки покрытий «Alier-55» и устройство, генерирующее ультразвуковые колебания при помощи пьезопреобразователя (рисунок 1).